

Rumbos Tecnológicos



Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

ISSN en trámite. Volumen 1. Número 1. Septiembre 2009

Rumbos Tecnológicos

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
Facultad Regional Avellaneda

Universidad Tecnológica Nacional

Rector

Ing. Héctor Carlos Brotto

Facultad Regional Avellaneda

Decano

Ing. Jorge Omar Del Gener

Secretario de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

Mgr. Ing. Lucas Gabriel Giménez

Año 1

Volumen 1

Septiembre 2009

I.S.S.N. (en trámite)

Registro de Propiedad Intelectual (en trámite)

Director

Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial

Ing. Adriana Beatriz García

Lic. Rut Vieytes

Ing. Luis Muraca

Asesor

Lic. José A. Valentini

Colaboración Técnica

Victoria Senia

Diseño y Diagramación

Lic. Marina De Giobbi

Facultad Regional Avellaneda

Av. Mitre 750 (CP 1870)

Avellaneda,

Provincia de Buenos Aires,

Argentina.



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Avellaneda

ÍNDICE

Editorial.....	7
Comunicaciones.....	9
• Uso del ^{197}Hg como trazador de la reacción de metilación de mercurio. Análisis de la transformación biótica y abiótica de sedimentos en el lago Escondido.....	9
Autores: Soledad Perez Catán, Maria A. Arribere, Isaac. M. Cohen.	
• Desafíos en la implementación de sistemas de calidad en organismos científico tecnológicos de la administración pública. El caso del servicio geológico minero argentino.....	27
Autores: Rut Vieytes, Martina Saudino.	
• Autoxidación de aceites vegetales comerciales.....	53
Autores: María Mercedes Pereyra Boué, Damián Costamagna, Pablo Rodríguez, Cristina Speltini, Gabriela Coppo.	
• Generación de diagramas de propiedades del agua líquida y el vapor de agua.....	65
Autor: Juan Carlos Petras.	
• Método para el Redondeo y la Expresión Automática de Cifras Significativas en Análisis Multielementales.....	83
Autores: Eduardo Montoya, Isaac Marcos Cohen, María Celeste Fornaciari Iljadica, Patricia Bedregal, Blanca Torres.	
• Control estadístico de procesos. Un estudio de caso.....	95
Autores: Carlos Alberto Sanchez, Stella Maris Boutet.	
Artículo de difusión.....	113
• Ahorro energético y aprovechamiento de la energía en la climatización de edificios.....	113
Autor: Néstor Quadri.	
Instrucciones para los Autores.....	137

EDITORIAL

Una idea compartida acerca de las características de la Editorial en una publicación es que representa una instancia de reflexión e invitación al diálogo, pero restringida, con respecto a su extensión. Por tal razón, es frecuente que su contenido abarque un único tema, elegido por su actualidad o su importancia.

No es de extrañar que la Editorial de un número inaugural se refiera a la publicación misma. Es patrimonio del lector el juicio sobre su trascendencia, como un nuevo marco de comunicación en ciencia y tecnología, y también lo será su valoración, en relación con sus contenidos. Para quienes participamos del esfuerzo compartido en el ámbito propio de la Facultad Regional Avellaneda, esta realización es motivo de evocación y de evaluación.

Hace apenas unos pocos años, la investigación en nuestra Facultad era anhelo y proyección futura antes que actividad cotidiana, por entonces demasiado alejada de la realidad. Nuestro presente de nutre de otros hechos: los diferentes Departamentos ejecutan proyectos de investigación que se asientan en una consolidada Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, encargada de supervisar y orientar la labor. El concepto de innovación productiva está siempre presente en la formulación y la gestión de cada proyecto, mientras que la Unidad de Vinculación Tecnológica constituye el puente necesario y obligado hacia la sociedad, en la tarea de transferencia de nuestros desarrollos

Desde esta conducción, hemos querido cimentar la acción de la Secretaría, encomendando la elaboración de la publicación que hoy llega a los lectores. Rumbos Tecnológicos es el lugar donde nuestros investigadores podrán exponer los frutos de su trabajo, pero no será un espacio excluyente: invitamos muy cordialmente a todas las instituciones externas a la Facultad Regional Avellaneda a sumar su aporte a este emprendimiento. Podremos tener así la satisfacción de saber que colaboramos en la generación de una creación colectiva.

Deseo formular mi esperanza de contar con el permanente acompañamiento de los destinatarios de esta publicación: los lectores. De su aprobación dependerá el éxito de nuestra tarea.

Ing. Jorge Omar Del Gener
Decano

USO DEL ^{197}Hg COMO TRAZADOR DE LA REACCIÓN DE METILACIÓN DE MERCURIO. ANÁLISIS DE LA TRANSFORMACIÓN BIÓTICA Y ABIÓTICA DE SEDIMENTOS EN EL LAGO ESCONDIDO.¹

Soledad Perez Catán¹, Maria A. Arribere¹, Isaac. M. Cohen²

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche, Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, Av. Bustillo 9500, 8400 Bariloche, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Av. Ramón Franco 5050, Avellaneda. Argentina
e-mail: spcatan@cab.cnea.gov.ar

Recibido el 18 de junio de 2009; aceptado el 10 de julio de 2009

Resumen

Se describe la preparación de ^{197}Hg como radiotrazador de mercurio, en sustitución del ^{203}Hg , radioisótopo utilizado usualmente para la realización de estudios sobre procesos de metilación de ese elemento en diversos sistemas. Se efectuaron irradiaciones de 24 h de cloruro de mercurio no enriquecido, expuesto a flujos de neutrones del orden de $7 \times 10^{12} \text{ n. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, y se obtuvo el $^{197}\text{Hg}^{2+}$ con una actividad específica aproximada de $2,2 \text{ Bq. g}^{-1}$. La tasa de producción del ^{197}Hg respecto a la del ^{203}Hg es 50 veces mayor; en razón de su periodo de desintegración más corto es posible obtener un trazador de mayor actividad específica, en términos de irradiación de 24 h. Adicionalmente, se facilitan aspectos relativos a la seguridad en el área de trabajo y a la gestión de residuos. Empleando ^{197}Hg se midieron potenciales de metilación de mercurio en sedimentos húmedos del Lago Escondido, Parque Nacional Nahuel Huapi. Los experimentos de metilación realizados incubando sedimentos frescos indicaron que la metilación de mercurio es máxima en otoño, $1,4 \pm 0,5 \%$ por gramo de sedimento húmedo y estaría asociada a la acción de bacterias ferro reductoras.

Palabras clave: Hg-197, trazador radiactivo, procesos de metilación, metilmercurio

Abstract

The preparation of ^{197}Hg , in substitution of ^{203}Hg , radioisotope usually employed for the accomplishment of studies on methylation processes, is described. 24 h irradiations of non-enriched mercury chloride were carried out at neutron fluxes of orders of $7 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; ^{197}Hg was obtained with 2.23 Bq.g^{-1} specific activity. The production rate of ^{197}Hg , in comparison with that of ^{203}Hg , is 50 times higher; because of its shorter half-life it is possible to obtain a tracer with higher specific activity, on the basis of a 24 irradiation. In addition, the aspects related with the safety in the working area and the waste management are

1 - Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por S. Perez Catán para optar al título de Doctor en Ciencias de la Ingeniería, en el Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo.

facilitated. Methylation potentials of mercury in moist sediments of Lago Escondido, Nahuel Huapi National Park, were measured using ^{197}Hg . The methylation experiments performed by incubation of fresh sediments showed maximum methylation of mercury in autumn (1.4 ± 0.5 per gram of moist sediment), which could be associated to the action of iron-reducing bacteria.

Keywords: Hg-197, radioactive tracer, methylation processes, methylmercury.

Introducción

El mercurio es un contaminante medioambiental emitido por fuentes naturales y antropogénicas a la atmósfera, desde donde, con un tiempo de residencia de aproximadamente un año, puede viajar grandes distancias e impactar ecosistemas en sitios distantes (U.S. EPA, 1997).

En cualquier ambiente, aire, suelo y agua, puede ocurrir interconversión entre sus diferentes formas físicas y químicas. Si bien la aparición de la enfermedad de Minamata en Japón (Tamashiro et al., 1986) mostró en la década del '50 las consecuencias devastadoras de la transformación del mercurio en el ión metilmercurio (MeHg) y su biomagnificación, el conocimiento sobre el proceso de metilación en el medioambiente en sí ha sido lento, debido a su complejidad y a los factores diversos que lo afectan.

Son bien conocidos los efectos tóxicos del mercurio y los procesos de biomagnificación en los sistemas de agua dulce, fundamentalmente en el hemisferio norte.

En la última década, con el desarrollo de distintas técnicas analíticas de detección y especiación del mercurio y el desarrollo de técnicas de trazadores² se ha incrementado a nivel mundial el estudio detallado sobre sus fenómenos de transformación.

El proceso de metilación de mercurio inorgánico en sedimentos, y en menor medida en aguas, constituye el primer paso a la comprensión del ciclo del mercurio en un sistema acuático. Los procesos de metilación y demetilación ocurren en forma simultánea, siendo el balance entre ambos el responsable de los niveles de metilmercurio en los sedimentos.

Se ha sugerido que el efecto combinado de producción y degradación muy probablemente lleva a un estado de equilibrio, en el cual alrededor de no más 1 % del mercurio total de los sedimentos está en forma de compuestos orgánicos. Sin embargo, por los procesos de bioacumulación y biomagnificación de esta fracción llega a valores superiores al 90 % en peces predadores (Huckabee et al., 1979; Bloom, 1992). La biodisponibilidad del mercurio ligado a los sedimentos es la que determina las rutas de ingreso del contaminante en la cadena alimenticia. Esta disponibilidad está afectada por múltiples factores: biológicos (actividad microbiana, cantidad de nutrientes, sulfatos), fisicoquímicos (carga de mercurio, pH, temperatura, condiciones redox) y factores propios de los procesos de sedimentación (tasa de sedimentación y carga de material suspendido). Además, según investigaciones realizadas por Benoit et al. (2003) el Hg^{2+} agregado externamente al sistema (como trazador) tiene igual o mayor probabilidad de ser metilado que el mercurio del ambiente; el trazador está disponible y puede ser utilizado inmediatamente por el sistema, en comparación con el autóctono -propio del sedimento- el cual se encuentra adsorbido en el material particulado,

2 Trazador es un compuesto que, adicionado a una sustancia o un sistema, permite seguir su comportamiento en un determinado proceso.

como coloides o formando algún tipo de compuesto.

Se ha observado que los parámetros fisicoquímicos actúan en forma conjunta, favoreciendo o inhibiendo las reacciones dependiendo de los ambientes, lo que hace difícil trasladar la experiencia directamente de un sitio a otro. Estas líneas de investigación están en pleno desarrollo; los índices de la producción béntica de MeHg se han determinado en experimentos de laboratorio usando mercurio (II) radiactivo o enriquecimiento con isótopos estable (Gilmour et al., 1992; Gilmour y Riedel, 1995; Guimaraes et al., 2000; Marvin-DiPasquale et al., 2003; Warner et al., 2003; Hintelmann y Evans, 1997; Mauro et al., 2002).

El uso del ^{203}Hg como trazador para medir tasas de metilación de mercurio (II) representa un método relativamente rápido, similar a los usados rutinariamente en diverso ensayos biocinéticos. Sin embargo, mientras que en los países del hemisferio Norte se han medido las tasas de transformación microbiana en muchos sitios de alto riesgo (Gilmour et al., 1998; Marvin-DiPasquale y Oremland, 1998) en el hemisferio sur sólo se cuenta con mediciones de este tipo en Amazonia (Guimarães et al., 1995; Guimarães et al., 1998, 2000; Mauro et al., 2001, 2002).

La región de los lagos andino patagónicos es considerada una región protegida de la contaminación antropogénica, debido a la baja densidad de población y a su lejanía con los centros de desarrollo industrial. Sin embargo, investigaciones realizadas a fines del siglo XX en la zona del Parque Nacional Nahuel Huapi mostraron que el área está sometida a contaminantes que llegan a través de la atmósfera por deposición seca o húmeda (Ribeiro Guevara et al., 2004 a; 2005). Análisis de mercurio en sedimentos del lago Moreno revelaron que el 40 % del inventario de los últimos 150 años corresponde a aportes atmosféricos, lo que indicaría que el mercurio es también un contaminante global en la región (Perez Catán et. al., 2008).

Los lagos ubicados en la zona patagónica están poblados por salmónidos introducidos por el hombre en la primera década del siglo XX, provenientes de Canadá. La pesca deportiva y turística es una actividad usual en el lugar, al igual que la presencia de criaderos y ahumaderos que preparan peces para consumo humano. Si bien los peces no son componentes únicos de la dieta regional, son consumidos por pobladores y turistas. En virtud de que ellos son el eslabón tope de la cadena trófica, Arribére et al. (2008) midieron el contenido de mercurio en peces y también en bivalvos de los lagos del Parque. Se destacan los valores de mercurio total en músculo de peces, que llegan a $1,5 \mu\text{g/g}$ peso húmedo (el valor aceptado para consumo es de $0,5 \mu\text{g/g}$ peso húmedo).

Debido a la complejidad del proceso de metilación de mercurio y la disponibilidad de metodologías de análisis, se planteó como objetivo principal de este trabajo estudiar el proceso de metilación en sedimentos de agua dulce, utilizando un trazador radiactivo.

La zona de estudio fue un lago andino patagónico, el lago Escondido, ubicado en el Parque Municipal de la ciudad de Bariloche, dentro de los límites del Parque Nacional Nahuel Huapi. Se estudió el comportamiento cinético de la reacción de metilación en forma estacional, la variabilidad estacional de parámetros ambientales y su correlación con la metilación en dos zonas del lago: litoral y centro; los estudios experimentales se realizaron durante dos ciclos anuales.

El sitio estudiado fue escogido a raíz de investigaciones previas realizadas por Ribeiro Guevara (2005) que indicaron un contenido de mercurio total en los primeros 0,5 cm de la

columna sedimentaria de $2,8 \times 10^{-3}$ ppm. Para la realización de los estudios se utilizó como trazador radiactivo al ^{197}Hg ; datos preliminares de su empleo han sido publicados por Perez Catán et al. (2004).

Los fundamentos de la producción de radioisótopos

Para describir a una especie atómica caracterizada por la composición de su núcleo, se emplea el número de masa (A), suma del número de neutrones (N) y de protones (Z, número atómico). Todas las especies con el mismo Z, que caracteriza al elemento químico, y diferente A, son isótopos, y se ubican en el mismo lugar de la tabla periódica. Los isótopos de un elemento tienen, además del mismo número de protones, igual número de electrones, y por lo tanto las mismas propiedades químicas.

Toda especie nuclear caracterizada por su número atómico, su número de masa y su estado energético se conoce con el nombre de nucleido. En particular, un radionucleido refiere a un nucleido radiactivo. Es frecuente denominar a los radionucleidos como radioisótopos, aun si se trata de nucleidos radiactivos de elementos distintos; esta denominación es, en términos estrictos, incorrecta, pero su uso generalizado impone la mención específica.

La estabilidad del núcleo está asociada a su relación entre neutrones y protones; así es que se puede hablar de isótopos estables e inestables, que son los isótopos radiactivos. La estabilidad de los nucleidos depende de la energía de unión del núcleo, que está dada por la diferencia entre la suma de las masas individuales de los protones, neutrones y electrones y la masa exacta del átomo.

Un núcleo inestable tiene exceso de energía y debe reordenarse para adquirir estabilidad; durante este proceso emite una cantidad de energía característica, ya sea en forma de partículas nucleares o radiación electromagnética.

Dada una población de núcleos radiactivos a un determinado tiempo, se define "actividad" como su tasa de decaimiento radiactivo. Matemáticamente, la actividad se relaciona con el número de átomos radiactivos según:

$$A = \lambda \cdot N$$

El factor de proporcionalidad, λ , se denomina constante de decaimiento y se expresa como la inversa de la unidad de tiempo, s⁻¹; Para una población de núcleos de actividad inicial A_0 , que no pierde nucleidos por otro proceso que no sea decaimiento,

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

La unidad en la que se mide la actividad es el Becquerel, Bq, (1 Bq = 1 desintegración por segundo, d.p.s). Cuando se trabaja con sustancias radiactivas se utiliza también la actividad específica (actividad por unidad de masa) expresada en unidades de Bq/kg.

Durante el bombardeo de una muestra con neutrones térmicos, cuyas energías han disminuido hasta llegar al equilibrio térmico con los átomos del moderador, algún neutrón puede aproximarse suficientemente al núcleo de un átomo como para ser atraído y formar un núcleo compuesto, que se encuentra excitado. Este estado perdura entre 10^{-12} y 10^{-16} segundos, luego de lo cual el núcleo se desexcita por emisión gamma dando lugar a un nuevo núcleo, que puede ser también inestable, y que en general alcanzará la estabilidad a través de emisión de partículas beta seguidas de radiación gamma. Esta emisión de radiación característica involucra tiempos mayores y, por tal razón, se la conoce como

radiación retardada. La probabilidad de producción de la reacción antes descrita se expresa a partir de una constante característica, sección eficaz de captura (σ) que se mide en barns ($1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$).

Según el periodo de semidesintegración³ de la especie formada, y del tipo y la energía de las radiaciones, los radioisótopos son útiles en un amplio campo de aplicación. Son herramientas importantes dentro de la investigación científica en disciplinas como la ecología, la medicina, la agricultura, la industria y la biología. Se pueden emplear como trazadores en estudios de procesos físicos, químicos, biológicos y médicos; como fuentes intensas de radiación en medicina nuclear; para esterilización de material quirúrgico desechable y de productos químicos y biológicos; etc. Las reacciones nucleares que dan origen a los radioisótopos pueden ser utilizadas para la determinación de elementos que se encuentran en concentraciones bajas, en la técnica que se conoce como análisis por activación neutrónica.

La mayoría de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y los procesos que se realizan en los laboratorios y en la industria, están basados en la relación dinámica de átomos y moléculas, como por ejemplo el movimiento de las masas aéreas y la fabricación de productos químicos. Para investigar la evolución de un elemento y su forma química en un proceso particular se necesita conocer los cambios de los átomos y las moléculas. Tanto en los procesos naturales como en los artificiales, se acostumbra “marcar” algunas especies (átomos) de un grupo grande para estudiar sus movimientos y las diferentes transformaciones que sufren. El nombre que se emplea usualmente para las especies marcadas es el de “trazadores”; en particular aquéllos que son radiactivos.

Los radioisótopos de un elemento son químicamente idénticos a los isótopos estables; por lo general es imposible diferenciar por métodos químicos un átomo radiactivo de otro que no lo es, pero es posible detectar fácilmente la radiación emitida por una cantidad muy pequeña, en masa, de los isótopos radiactivos, diluidos en el conjunto mayoritario de isótopos estables, y determinar el comportamiento de un elemento en un determinado proceso químico, físico o biológico.

Los trazadores de mercurio en el estudio de los potenciales de metilación

Los estudios sobre potenciales de metilación de mercurio reportados en la bibliografía se basan en empleo del radioisótopo ^{203}Hg como trazador (Gilmour y Riedel, 1995; Guimarões et al., 1995). En este trabajo el trazador propuesto se obtiene de las reacciones de $^{196}\text{Hg}(n,\gamma)^{197}\text{Hg}$ con una sección eficaz igual a $3080 \pm 180 \text{ b}$. Se producen dos reacciones, una de las cuales lleva a un estado metaestable, el $^{197\text{m}}\text{Hg}$, y la otra al fundamental, ^{197}Hg . El $^{197\text{m}}\text{Hg}$ decae con un período de 23,8 h; el 91,4 % pasa al estado fundamental. Los átomos del estado fundamental, formados directamente o a partir del estado metaestable, sufren transformaciones que los llevan a estados excitados del ^{197}Au con un período de 64,14 h.

Los aspectos destacados para la elección son: 1) para tiempos de irradiación cortos, del orden de las 24 h, la tasa de producción en flujos térmicos del ^{197}Hg respecto al ^{203}Hg es 50 veces mayor; 2) El período más corto del ^{197}Hg , en comparación con el del ^{203}Hg ($t_{1/2} = 46,595 \text{ d}$) facilita la gestión de residuos generados durante la experimentación y

3 - Periodo de semidesintegración (o periodo) es el tiempo en el cual el número de átomos de una población de un radionucleido decae a la mitad.

permite subsanar posibles contaminaciones asociadas al proceso, evitando interferencias con experimentos previos.

Parte Experimental:

Producción de ^{197}Hg

La producción del ^{197}Hg se realizó por irradiación de 20-30 mg de $\text{HgCl}_2(\text{s})$ con un flujo de neutrones térmicos de $7 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante 24 h en el reactor RA-6 del Centro Atómico Bariloche (Río Negro, Argentina).

Finalizada la irradiación, y luego del decaimiento del ^{38}Cl , ($t_{1/2} = 37,24 \text{ min}$) y del $^{197\text{m}}\text{Hg}$, se disolvió el HgCl_2 irradiado en HNO_3 3,2%; la solución de trabajo fue obtenida por dilución de la solución ácida con agua ASTM grado 1.

Se evaluaron las emisiones más importantes del ^{197}Hg : rayos X de 67,0 keV (21%); 68,8 keV (35%); 77,9 keV (12%) y 80,4 keV (3,3%), además del rayo gamma de 77,3 keV (18%). Los espectros fueron obtenidos con un detector de germanio hiperpuro, acoplado a un analizador multicanal y electrónica asociada.

Debido a que los potenciales de metilación son medidas relativas, no absolutas, se realizaron solamente correcciones por tiempo de decaimiento.

Mediciones de potenciales de metilación con el radiotrazador ^{197}Hg

Se muestrearon los primeros centímetros de sedimento, con un muestreador de columna sedimentaria impulsado por gravedad, en dos áreas del lago: área litoral cercana a la costa, a 4 m de profundidad, y el área centro, que corresponde a la profundidad máxima del lago.

En una cámara de guantes bajo atmósfera de nitrógeno, para evitar modificaciones biogeoquímicas ocasionadas por la aireación de la muestra, se submuestreó $2,9 \pm 0,2 \text{ g}$ de sedimento húmedo o agua intersticial, obtenida por centrifugación del sedimento húmedo aproximadamente a 3000 rpm.

Las muestras se colocaron en frascos de vidrio tipo "crimp-seal" de 15 ml de capacidad y cerradas herméticamente asegurando un tapón de goma con un precinto ajustado a presión.

Las incubaciones se realizaron inyectando 0,1 ml de la solución de $^{197}\text{HgCl}$ a la muestra, homogeneizando el contenido de los frascos durante 2 minutos y cubriendo con papel aluminio a temperatura ambiente, aproximadamente a 22 °C.

Al cumplirse los tiempos preestablecidos se esterilizaron las muestras por inmersión en nitrógeno líquido y se inició la extracción de los compuestos orgánicos. Todos los experimentos se diseñaron con un mínimo de tres réplicas y los blancos (sin $^{197}\text{HgCl}$) por duplicado.

Los compuestos orgánicos de mercurio fueron extraídos con dos alícuotas de 10 ml de tolueno p.a., para lo cual el sedimento fue trasvasado a tubos cónicos plásticos de 50 ml con tapa, agregando 4 ml de urea (4 N), 2 ml de CuSO_4 0,5 M y 8 ml de HCl 6 N y 10 ml de solvente orgánico; luego de 15 min de agitación y 5 min de centrifugación se separó la fase orgánica en un tubo cónico limpio. Una vez finalizada la extracción se

reunieron ambas fases orgánicas y se secaron por agregado de 0,5 g de Na_2SO_4 anhidro. La actividad se midió sobre la alícuota de tolueno seco. Se preparó una muestra de referencia, correspondiente al 100% de actividad, por incorporación de 0,1 ml de solución de trazador al volumen de medición.

El potencial de metilación, expresado en porcentaje, se calculó como la fracción entre la actividad del extracto orgánico de la muestra respecto a una muestra de referencia. Los potenciales de metilación de las muestras control, a tiempo cero de incubación, se evaluaron como “metilación abiótica” mientras que los potenciales bióticos de metilación correspondieron a las muestras incubadas un cierto tiempo, descontando la contribución de los controles. Algunos de estos datos fueron ya publicados (Perez Catán et al., 2004).

Se midieron, además, parámetros ambientales, cuyos valores no se indican en el presente trabajo, tales como pH, materia orgánica (MO), contenido de Fe (II) del sedimento, temperaturas, oxígeno disuelto en agua y conductividad.

Los ensayos fueron realizados durante dos años consecutivos y los datos se analizaron mediante estadística paramétrica (ANOVA) y no paramétrica, mediante los test de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis, 1952) y de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947) para un valor de significación de 0,05.

Resultados

Potencial abiótico de metilación de mercurio

Las Figuras 1 y 2 presentan la evolución anual de los potenciales de metilación en muestras control de las zonas centro y litoral, respectivamente. Se observa que el potencial de metilación abiótico es alto en invierno, mayor que $0,30 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.h.}$ (s.h: sedimento húmedo) y descende a valores menores que $0,19 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.h.}$ en las estaciones más cálidas de otoño, primavera y verano.

Los resultados obtenidos en el centro y el litoral, tanto para el primero como el segundo año de trabajo, no presentan diferencias significativas (Prueba de Mann-Whitney, $p \geq 0,05$), salvo en invierno ($p = 0,025$). Los contrastes invernales, tanto en zona centro como en litoral, pueden ser asociados a las diferentes condiciones climáticas estacionales; las temperaturas medias anuales y la amplitud térmica fueron menores durante el segundo año de muestreos (datos no indicados en el presente trabajo). Esto indicaría un período más frío y, consecuentemente, un escaso desarrollo de vegetación litoral sumergida y emergente, con procesos de degradación insuficiente, menor aporte de material orgánico al sedimento y material orgánico disuelto de origen alóctono. Esta sucesión de efectos, teniendo en cuenta la relación entre la metilación de mercurio y la materia orgánica (Jackson, 1991; Watras et al., 1999; Munthe et al., 2004), justificaría la diferencia del potencial de metilación abiótica encontrado entre los muestreos invernales.

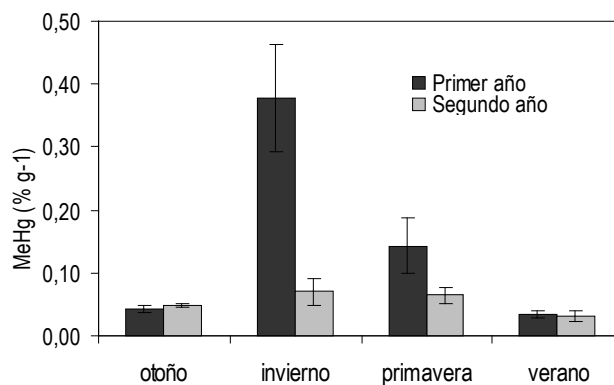


Figura 1: Variación estacional de los potenciales de metilación abiótico de mercurio, zona centro. Valores medios de tres réplicas.

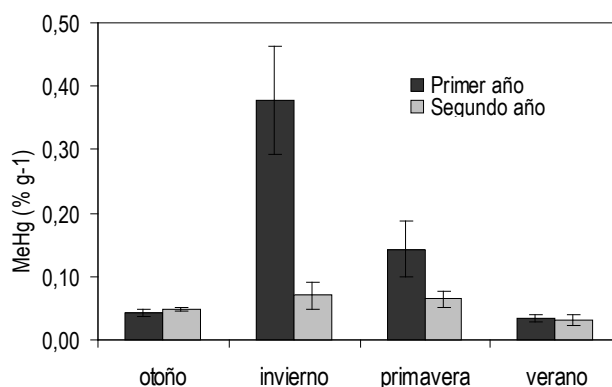


Figura 2: Variación estacional de los potenciales de metilación abiótica de mercurio en la zona litoral. Valores medios de tres réplicas.

Potenciales de metilación de mercurio en muestras de agua intersticial

La evaluación de los efectos biótico y abiótico en el sedimento se estudió separando la contribución de la fase homogénea (agua intersticial) de la heterogénea (sedimento húmedo) durante el invierno. Solamente se obtuvieron diferencias significativas en la evolución de los potenciales de metilación con el tiempo de incubación en sedimentos húmedos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$), no así en las muestras de agua intersticial (Kruskal-Wallis, $p = 0,15$) ni tampoco entre sitios (Kruskal-Wallis, $p_{\text{agua}} = 0,02$ y $p_{\text{sed}} = 0,76$).

Comparando los valores de metilación en agua con los de los respectivos sedimentos húmedos (Figura 3) se comprueba que la metilación en fase homogénea es equivalente a la heterogénea sólo cuando se inhibe la actividad bacteriana, o sea sin incubación (Mann-Whitney, $p = 0,29$). Al incubar las muestras, la metilación en fase heterogénea aumenta con el tiempo, tal como se muestra en la Figura 3. Se puede observar que la metilación en el agua intersticial representa aproximadamente un 74% de la metilación del sedimento húmedo (muestras sin incubar), mientras que no supera el 10% en las muestras incubadas donde se evalúan ambas contribuciones. Entonces, la metilación abiótica se produce fundamentalmente en el agua intersticial como reacción en fase homogénea del mercurio con los compuestos orgánicos solubles y está mostrando la importante contribución de la metilación abiótica representada por el valor a tiempo cero de incubación en las muestras controles.

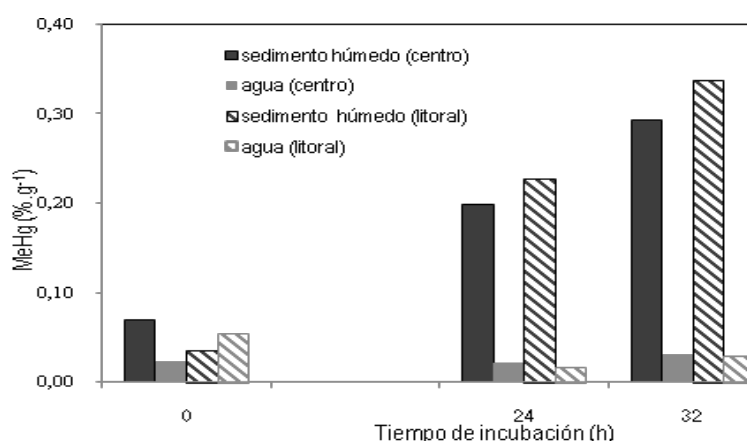


Figura 3: Potenciales de metilación de mercurio en fase heterogénea (sedimento húmedo) y en fase homogénea (agua intersticial).

Potencial biótico de metilación de mercurio

Variación estacional de los máximos potenciales de metilación biótica de mercurio

Los potenciales de metilación biótica, también llamados máximos potenciales netos de metilación de mercurio, se obtuvieron por sustracción del potencial de metilación abiótico del total. Esta operación dio lugar a valores negativos de metilación biótica, lo que indica que ésta no se ha desarrollado para algunos tiempos de incubación y sitios, en partículas menores a 20 h en el litoral. Los máximos potenciales de metilación se calcularon con los promedios y las desviaciones estándares de los potenciales de metilación biótica para tiempos de incubaciones del orden de 32 horas, los cuales se presentan en la Figura 4.

En el sedimento del litoral la variación del potencial de metilación con la estacionalidad no es significativa y se mantiene constante dentro del desvío estándar. En contraste, la evolución estacional en el sedimento del centro cubre un rango de valores más amplio que en el litoral: alcanza un potencial de metilación en el equilibrio de $0,11 \pm 0,05 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}$ en verano y prácticamente un orden de magnitud mayor en otoño ($1,4 \pm 0,5 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}$).

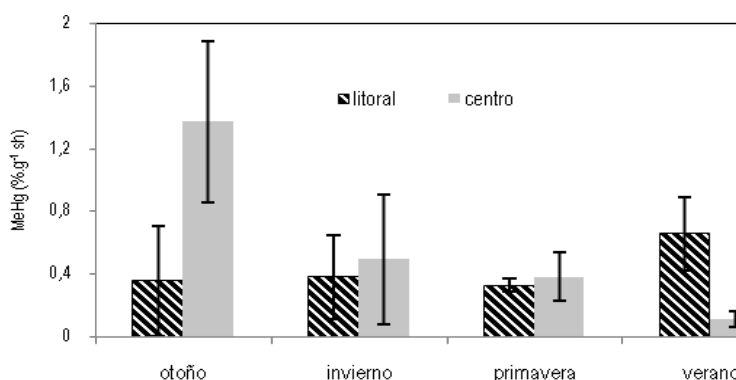


Figura 4: Variación estacional del máximo potencial de metilación de mercurio

Evaluación de la tasa de acumulación de MeHg

La tasa de metilación de mercurio se obtiene del gráfico cinético en la zona de dependencia lineal entre el potencial de metilación y el tiempo de incubación. Los cálculos de la tasa de metilación de mercurio fueron realizados para ambos sitios de muestreo cuando estos mostraron diferencias significativas. En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se presenta la regresión lineal (ANOVA), el factor de correlación, R, y el correspondiente índice de probabilidad, p.

Los valores de las tasas de metilación de mercurio de las cuatro estaciones estudiadas se presentan en la Tabla 1. En invierno, la tasa de metilación de mercurio del centro es igual a la del litoral y la diferencia entre sitios está reflejada en la ordenada al origen. La tasa de reacción disminuye al pasar de las estaciones lluviosas y frías hacia las templadas, donde se incrementan las condiciones de anoxia propias de la estación estival; sin embargo, las diferencias no son significativas (Kruskal-Wallis, $p = 0,46$). Esto indica que el ambiente responde a la incorporación de mercurio metilándolo; tal respuesta puede ocurrir, consecuentemente, cuando el mercurio natural está en su forma reactiva, sin importar la estación del año y la región del lago. Además, solo se encontró correlación positiva de la tasa de metilación de mercurio de sedimentos del lago Escondido con el contenido de Fe (II), como se muestra en la Figura 9; no se verificó correlación con ningún otro parámetro ambiental.

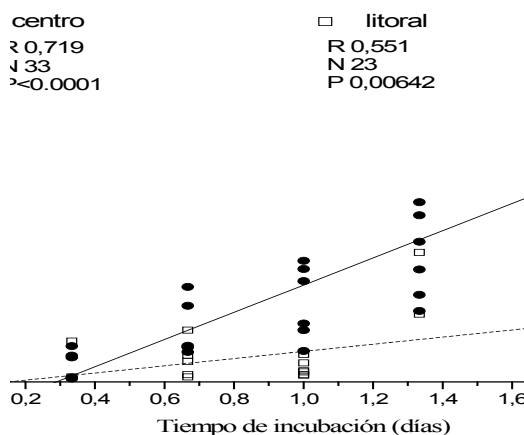


Figura 5: Regresión lineal del potencial de metilación de mercurio en función del tiempo de incubación para los muestreos de otoño. Cálculo de la tasa de metilación de mercurio (F_{met}) en centro y litoral, factor de correlación, R, índice de probabilidad, p y N el número de observaciones.

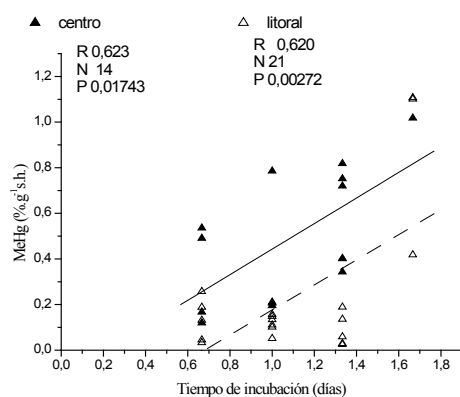


Figura 6: Regresión lineal del potencial de metilación de mercurio en función del tiempo de incubación para los muestreos de invierno. Cálculo de la tasa de metilación de mercurio en centro y litoral (F_{met}), factor de correlación, R, índice de probabilidad, p y N el número de observaciones.

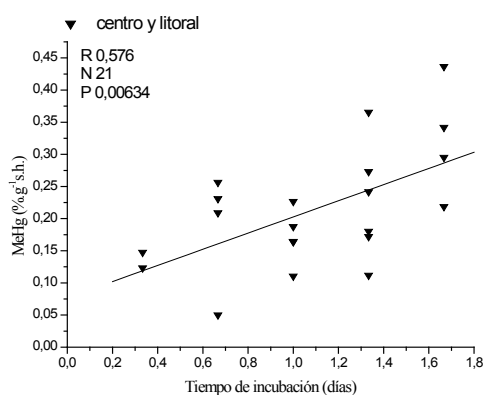


Figura 7: Regresión lineal del potencial de metilación de mercurio en función del tiempo de incubación para los muestreos de primavera.

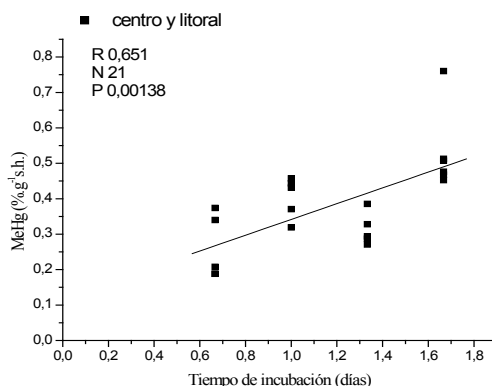


Figura 8: Regresión lineal del potencial de metilación de mercurio en función del tiempo de incubación para los muestreos de verano.

Estación del año	Tasa de metilación de mercurio, F_{met} (%g ⁻¹ .d ⁻¹)	
	centro	litoral
otoño	0,8 ±0,1	0,21 ±0,07
invierno	0,6 ±0,2	
primavera	0,22 ±0,06	
verano	0,13 ±0,04	

Tabla 1: Tasa de metilación de mercurio en sedimentos del centro y litoral del lago para las distintas estaciones del año.

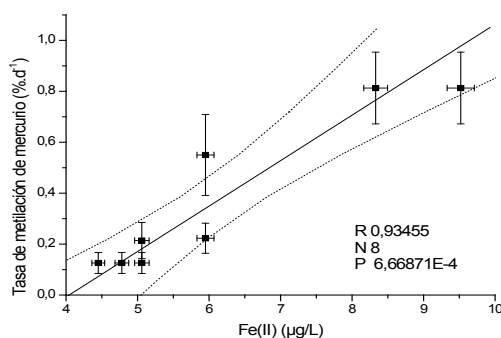


Figura 9: Correlación entre la tasa de metilación de mercurio y la concentración de Fe (II)

Discusión

Los experimentos destinados a estudiar la reacción de metilación de mercurio en sedimentos del Lago Escondido fueron realizados mediante experimentos sencillos de metilación de mercurio incubando sedimentos frescos con 50 a 100 ng.g⁻¹ de solución de ¹⁹⁷Hg²⁺. Empleando detectores germanio hiperpuro fue posible medir variaciones relativas

de los potenciales de metilación de mercurio menores que 0,02 %. Quedó así establecida la factibilidad de uso de este radioisótopo como trazador en el estudio de este tipo de procesos. Los principales resultados de la investigación se resumen de la siguiente forma:

- Las variaciones en los potenciales de metilación de mercurio de las muestras control están asociadas a los cambios en la metilación abiótica.
- Los potenciales de metilación abiótica, salvo en invierno, donde el potencial fue $0,38 \pm 0,08 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1}$, no mostraron variaciones significativas con la estacionalidad y los sitios; estos datos fueron reproducidos durante los ciclos de muestreo en el rango $0,11 - 0,19 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1}$, como muestran las Figuras 1 y 2.

Los valores de potencial de metilación de mercurio abiótico obtenidos en invierno del primer año sugieren una relación entre la metilación abiótica y los radicales orgánicos.

El origen de las contribuciones biótica y abiótica a la metilación se ve reflejado en los resultados de agua intersticial, donde los aportes de metilación abiótica respecto de la metilación total fueron menores que 10 %. Ambas reacciones ocurren en el sedimento húmedo, pero la componente abiótica parecería ocurrir mayoritariamente en fase homogénea, como se muestra en la Figura 3. Esto se sustenta en la predisposición del mercurio (en nuestro caso $^{197}\text{Hg}^{2+}$) a reaccionar con radicales orgánicos de tipo ácidos húmicos, aminoácidos, proteínas, enzimas, productos del metabolismo o productos de la respiración de microorganismos. Por lo tanto, la variación de la metilación abiótica invernal estará relacionada con el ciclado ambiental de estos compuestos. En este período del año la temperatura disminuye, aumenta el oxígeno disuelto en el agua (período de mezcla) y precipita la materia orgánica coloidal, incrementándose el contenido de ácidos húmicos en el sedimento (materia orgánica disuelta) y reduciendo las unidades de pH. Este efecto no fue detectado durante el segundo año, posiblemente como consecuencia de las diferencias climáticas manifestadas, tales como reducción de la amplitud térmica y temperaturas extremas menores que el año precedente (datos no mostrados).

- El análisis de los potenciales de metilación biótico se realizó considerando estado estacionario o equilibrio de las reacciones de metilación/demetilación como máximos potenciales de metilación, cuando el tiempo de incubación fue de más de 32 horas y las velocidades de reacción según la estación del año se evaluaron en función de la tasa de metilación en función del tiempo de incubación. La metilación biótica ocurre dentro de la membrana celular de las bacterias o sobre ella; el mercurio agregado al sedimento debe estar disuelto para ingresar en la célula bacteriana o unirse a los receptores de membrana y metilarse. El Hg(II) ingresa por difusión pasiva a través de la membrana como un soluto complejo de carga neutra (Benoit et al., 1999 a).

Por otra parte, en la interfase sedimento/agua intersticial, el trazador agregado debe alcanzar el equilibrio de concentración y reaccionar formando el complejo antes mencionado, como paso preliminar a la reacción biótica (Rodríguez Martín-Doimeadios et al., 2004; Hamerschmidt et al., 2006). Estos procesos son los que se producen durante el tiempo de inducción, tanto para la zona centro como para el litoral, y que sería de aproximadamente 8 h, como se observa en las Figuras 5 a 8.

- La metilación biótica no mostró variaciones en función del año de trabajo y el sitio, pero sí en función de la estación. En otoño se obtuvieron los valores máximos de metilación, $1,4 \pm 0,5 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1}$ respecto a $0,11 \pm 0,05 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1}$ en verano, tanto en el estado estacionario como en el valor de la tasa de reacción ($0,8 \pm 0,1 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1}$ respecto a

$0,13 \pm 0,04 \text{ \%} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$; éstos fueron descendiendo sucesivamente con el cambio de estaciones, en invierno mayor que en primavera y verano, como se observa en la Figura 4 y la Tabla 1. Sin embargo, durante el verano, como consecuencia de la estratificación térmica, se produce un incremento de la anóxico en el sedimento del fondo del lago, donde predomina la acción de las bacterias metiladoras de mercurio que obtienen oxígeno de la reducción de los sulfatos (bacterias sulfatos reductoras) y también, de la descomposición de la materia orgánica. Esto debiera repercutir en un incremento de los potenciales de metilación de mercurio en verano, pero se cree que estos efectos estarían atrasados en el tiempo y repercuten en los valores de metilación biótica de otoño. Entonces, los procesos de óxido-reducción y la descomposición de la materia orgánica son favorecidos por la anoxia del sistema y además, el ciclo de la luz.

Existe un grupo de bacterias que obtienen su energía por conversión de otras formas oxidadas, además de los sulfatos, utilizando especies como Fe(III) y Mn(IV). Estas bacterias serían capaces de intervenir en la producción de MeHg, según algunos casos informados en la literatura (Gilmor et al., 1998, Lee et al., 1995) y confirmados por ensayos de laboratorio (Fleming et al., 2006; Kerin et al., 2006); sin embargo, el mecanismo de interacción aún no ha sido totalmente identificado. Por lo tanto, la relación entre el Fe(II) y la tasa de metilación de mercurio estaría basada en el ciclo biogeoquímico del hierro.

- Se obtuvo correlación lineal de la tasa de metilación de mercurio con Fe (II) ($R=0,93$; $p < 0,05$) lo cual indicaría la intervención de bacterias ferro reductoras en sedimentos del lago Escondido.
- Teniendo en cuenta la coincidencia de los valores de metilación encontrados para ambos ciclos de muestreo, parecería que la metilación cumple un ciclo anual en el cual la relación entre las contribuciones biótica y abiótica varía con la estación, como se observa en la Figura 4 y en la Tabla 1. Existiría una contribución abiótica, fundamentalmente en fase homogénea asociada a la materia orgánica durante el invierno, a la productividad del lago. La metilación biótica ocurre en los sedimentos en forma similar en ambos sitios y durante todo el año, con mayor intensidad durante el otoño y asociada con el ciclo biogeoquímico de la materia orgánica y del hierro; posiblemente, con las bacterias ferro reductoras.

Agradecimientos

Este trabajo se pudo llevar a cabo gracias a la colaboración prestada por el Dr. Segio Ribeiro Guevara y el personal del reactor RA-6, de San Carlos de Bariloche.

Referencias

- Arribére, M., Ribeiro Guevara, S., Bubach, D., Arcagni, M., y Vigliano, P. (2008). "Selenium and Mercury in Native and Introduced Fish Species of Patagonian Lakes, Argentina". *Biol. Trace Elem. Res.*, 122, 42-63.
- Benoit, J. M., Gilmour, C. G., Mason, y R. P., Heyes, A. (1999). "Sulfide controls on mercury speciation and bioavailability to methylating bacteria in sediment pore waters". *Environ. Sci. Technol.*, 33; 951-957.
- Benoit, M., Gilmour C. C., Heyes A., Mason R. P., y Miller C. L., (2003). "Geochemical and biological controls over methylmercury production and degradation in aquatic systems". *Biochemistry of Environmentally Important Trace Elements*, Ed. Y. Cai, O. C. Brads, Amer. Chem. Soc., Washington, DC; p. 262-297.
- Bloom, N. S. (1992). "On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue". *Can. J. Fish Aqu. Sci.*, 49, 1010-1017.
- Fleming, E. J., Mack, E. E., Green, P.G., y Nelson, D. C. (2006). "Mercury methylation from unexpected sources: molybdate-inhibited freshwater sediments and an iron-reducing bacterium". *Appl Environ. Microbiol.*, 72(1), 457-64.
- Gilmour, C. C., Henry, E., y Mitchell, R. (1992). "Sulfate stimulation of mercury methylation in freshwater sediments". *Environ. Sci. Technol.*, 26, 2281-2287.
- Gilmour, C. C., y Riedel, G. S. (1995). "Measurement of Hg methylation in sediments using high specific-activity ^{203}Hg and ambient incubation". *Water, Air, and Soil Poll.*, 80, 747-756.
- Gilmour, C. C., Riedel, G. S., Coates, J. D., y Lovley, D. (1998). "Mercury methylation by iron III-reducing bacteria". *Amer. Soc. Microbiol. 96th General Meeting (Proc.)* 19-23 (15), p. 356.
- Guimarães, J. R. D., Malm, O., y Pfeiffer, W. C. (1995). "A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near goldmining areas, Amazon, Brazil". *Sci. Total Environ.* 175, 151-162.
- Guimarães, J. R. D., Meili, M., Malm, O., y De Souza Brito, E. M. (1998). "Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake in the Pantanal floodplain, Brazil". *Sci. Total Environ.*, 213, 165-175.
- Guimarães, J. R. D., Ikingura, J., y Akagi, J. (2000). "Methyl mercury production and distribution in river water-sediment systems investigated through radiochemical techniques". *Water, Air, and Soil Poll.*, 124, 113-124.
- Hammerschmidt, C. R., y Fitzgerald W. (2006). "Methylmercury cycling in sediments on the continental shelf of southern New England". *Geochem. Cosmoch. Acta*, 70, 918-930.

Hintelmann, H., y Evans, R. D. (1997). "Application of stable isotopes in environmental tracer studies measurement of monomethylmercury (CH_3Hg^+) by isotope dilution ICP-MS and detection of species transformation". *Fresenius J. Anal. Chem.*, 358(3), 378-385.

Huckabee, J. W., Elwood, J. W., y Hildebrand, S.G. (1979). *Accumulation of mercury in freshwater biota. The biogeochemistry of mercury in the environment*. Ed: J. O. Nriagu. Eseevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, p. 696.

Jackson, T. A. (1991). "Effects of heavy metals and selenium on mercury methylation and other microbial activities in freshwater sediments". *Trace Met. Environ.*, 1, 191-217.

Kerin, E. J., Gilmour, C. C., Roden, E., Suzuki, M. T., Coates, J. D., y Mason R. P. (2006). "Mercury methylation by dissimilatory iron-reducing bacteria". *Applied and Environmental Microbiology*, 72(12), 7919-7921.

Kruskal, W. H., y Wallis, W. A. (1952) "Use of ranks in one-criterion variance analysis". *Journal of the American Statistical Association*, 47 (260), 583-621.

Lee, Y. W., Klein, C. B., Kargacin, B., Salnikow, K., Kitahara, J., Dowjat, K., Zhitkovich, A., Christie, N. T., y Costa, M. (1995). "Carcinogenic nickel silences gene expression by chromatin condensation and DNA methylation: a new model for epigenetic carcinogens". *Mol. Cell Biol.*, 15, 2547-2557.

Mann, H. B., y Whitney, D. R. (1947) "On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other". *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50-60

Marvin-Dipasquale, M., y Oremland, R. (1998). "Bacterial methylmercury degradation in Florida Everglades peat sediment". *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2556-2563.

Marvin-DiPasquale, M. C., Agee, J. J., Bouse, R. M., and Jaffe, B. E. (2003) Microbial cycling of mercury in contaminated pelagic and wetland sediment of San Pablo Bay, California. *Environ. Geology*, 43, 260-267.

Mauro, J. B. N., Guimarães, J. R.D., y Melamed R. (2001). "Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake". *Water, Air, and Soil Pollution*, 127, 271-280.

Mauro, J. B. N., Guimarães J. R. D., Hintelmann, H., Watras, C. J., Haack, E. A., y Coelho-Souza, S. A. (2002). "Mercury methylation in macrophytes, periphyton, and water-comparative studies with stable and radio-mercury additions". *Anal. Bioanal. Chem.*, 374, 983-989.

Munthe, J., y Hultberg, H. (2004). "Mercury and methylmercury in runoff from a forested catchment - Concentrations, fluxes, and their response to manipulations". *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 4 (2-3), 607-618.

Perez Catán, S., Ribeiro Guevara, S., Marvin-DiPasquale, M., Arribére, M. A., y Cohen, I. M. (2004) " $^{197}\text{Hg}(\text{II})$ radiotracer determination of methylmercury production potential rates in sediments of lake Escondido, Argentine Patagonia". *Materials and Geoenvironment*. 51(2), 910-914.

Perez Catán, S., Perichon L., Arribere M.A. (2008). Evaluación del contenido de Hg atmosférico en sedimentos del lago Moreno Oeste. Presentado en IV Congreso Argentino de Limnología. San Carlos de Bariloche, Argentina, 2008.

Ribeiro Guevara, S., Bubach, D., y Arribére, M., (2004). "Mercury in Lichens of Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina". *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 261, 679-687.

Ribeiro Guevara, S., Arribére, M., Bubach, D., Vigliano P., Rizzo A., Sánchez R., y Pérez Catán, S. (2005). "Mercury in aquatic environments of Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina" *International Conference on Heavy Metals in the Environment (Proc.)*, Rio de Janeiro, Brazil.

Rodriguez Matín-Doimeadios, R. C., Tessier, E., Amouroux, D., Guyoneaud, R., Duran R, Caumette P, y Donard O.F.X. (2004). Mercury methylation/demethylation and volatilization pathways in estuarine sediment slurries using species-specific enriched stable isotopes. *Mar. Chem.*, 90(1-4), 107-123.

Tamashiro, H., Arakari, M., Futatsuka, M., y Lee, E. S. (1986). "Methylmercury exposure and mortality in southern Japan: a close look at causes of death". *J. Epidemiol. Comm. Health*, 40(2), 181-185.

U.S. EPA(1997) *Mercury Study Report to Congress. An inventory of Anthropogenic Mercury Emissions in the United States. Vol III. EPA-452/R-97-004*. US Environmental Protection Agency, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA.

Watras, C. J., Morrison, K. A., Host, J. S., y Bloom, N. S. (1999). "Concentration of mercury species in relationship to other site-specific factors in the surface waters of northern Wisconsin lakes". *Limnology and Oceanography*, 40 (3), 556-565.

Warner, K. A, Roden, E. E, y Bonzongo J. C. (2003). "Microbial mercury transformation in anoxic freshwater sediments under iron-reducing and other electro-accepted conditions". *Environ. Sci. Technol.*, 37, 2159-2165.

DESAFÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CALIDAD EN ORGANISMOS CIENTÍFICO TECNOLÓGICOS DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA. EL CASO DEL SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO.

Rut Vieytes^{1,2}, Martina Saudino²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Departamento de Ingeniería Industrial. Av. Ramón Franco 5050, V. Dominico (1874) Provincia de Buenos Aires, Argentina.

² Secretaría de Gabinete y Gestión Pública. Av. Roque Sáenz Peña 511 (C1035AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: rutvieytes@yahoo.com.ar

Recibido el 28 de mayo de 2009; aceptado el 15 de julio de 2009

Resumen

Se describe el proceso de implementación de un Sistema de Calidad –el Programa Carta Compromiso con el Ciudadano- en un organismo científico tecnológico de la Administración Pública: el Servicio Geológico Minero Argentino. Se señalan las dificultades que se presentaron y las reflexiones que éstas suscitaron. Asimismo se describen los desafíos que la tarea plantea, tanto para la eficacia del Programa como herramienta de aseguramiento de la calidad centrada en el interés del cliente/ciudadano, al igual que para la implementación de otros Sistemas de Calidad en organizaciones de producción científica y tecnológica.

Palabras clave: Sistemas de Calidad; Administración Pública; Organismos Científico Tecnológicos.

Abstract

The implementation process of a quality system -the Letter of Commitment with the Citizen Program- in a scientific-technological organization of public administration: the Argentinian Geological Mining Service, is described. We point out the difficulties that arised and the reflections that followed. We also describe the challenges that the assignment poses, both for the efficiency of the Program and as a tool for quality control centered in the interest of the client/citizen, as well as for implementation in other quality systems in scientific and technological organizations.

Key Words: Quality Management Systems; Public Administration; Scientific and Technological Organizations.

Introducción

Los resultados y procesos de la investigación científica y tecnológica son objeto de atención creciente para los Estados, para las empresas y cada vez más para la sociedad en conjunto, cuando su dinámica de trabajo afecta a la economía, la calidad de vida, el medio ambiente y la perspectiva del futuro de todos los actores.

Atentos a ello, los organismos estatales argentinos dedicados a la producción de conocimiento están introduciendo distintos *Sistemas de Gestión de la Calidad*, con el propósito de dar mayor y mejor orden, dirección, eficacia y también sentido al funcionamiento del sistema científico tecnológico. Con un enfoque general sistémico, cada uno de los diferentes programas implementados tiene en común una visión de la gestión centrada en la satisfacción de los clientes y basada en la participación de todos los integrantes de la organización. Asimismo, subrayan la importancia de la comprensión y el cumplimiento de los requisitos; la necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor; la obtención de resultados de desempeño y eficacia del proceso, y la mejora continua de los procesos en base a mediciones.

Sin embargo, el énfasis, el grado de desarrollo y la precisión con que cada uno de tales aspectos es considerado configuran variantes que en última instancia responden a concepciones y modalidades peculiares de entender la calidad y su relación con los objetivos de la organización y las necesidades de los destinatarios. Reflexionar sobre la propia práctica de implementación de sistemas de calidad -identificar problemas y obstáculos, considerar posibilidades no transitadas, exponer desafíos- permite revisar los supuestos no siempre advertidos durante el trabajo de campo y contribuir de ese modo a sostener la propia lógica de los sistemas de calidad, a saber: la mejora continua de los sistemas mismos.

En ese sentido, el objetivo de este artículo es presentar una descripción y un análisis de las principales dificultades e interrogantes que surgieron durante el proceso de implementación de un sistema de Calidad en un organismo científico tecnológico de la Administración Pública Argentina, a la vez que presentar los desafíos que esas dificultades e interrogantes dejan abiertos a quienes procuran imprimir la lógica de la mejora continua a los Sistemas de Calidad que implementan.

Los organismos científicos tecnológicos son aquellos que desarrollan actividades relacionadas con la producción, la promoción, la difusión y la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos en todos los campos de la ciencia y la tecnología. La importancia de implementar sistemas de calidad en esta categoría de organismos queda en evidencia si se tiene en cuenta que es a través de sus acciones que se procura cumplir con los objetivos de la política científica y tecnológica nacional. Concretamente, la elección del Servicio Geológico Minero (SEGEMAR) como objeto de reflexión se basa en el supuesto de que su caso es emblemático, pues el organismo representa por sus características a otras organizaciones científico tecnológicas en las que se podría querer implementar distintos sistemas de calidad.

El *Sistema de Calidad* analizado se denomina *Carta Compromiso con el Ciudadano (PCCC)*. Se trata de una herramienta integral de gestión de la calidad instituida en más de cincuenta organismos de la Administración Pública Argentina, cuyas normas tienen en común con otras normas de calidad el constituir dispositivos destinados a incrementar progresivamente la calidad de los productos / servicios mediante la aplicación de técnicas de mejora continua en el conjunto de la organización (estructura, procesos internos,

proveedores, recursos humanos, etc.). (Halliburton et. al., 2007). La mayor especificidad del PCCC con respecto a otros sistemas radica en que la noción de *cliente* que guía a aquellos es reemplazada aquí por la de *cliente ciudadano*, con las implicancias que tal concepto introduce. Así, el Sistema se sustenta en los conceptos de *receptividad* y de *calidad*. Desde esta perspectiva, “una administración receptiva es comprensible, responde a las necesidades de los clientes ciudadanos y fomenta la participación activa” (Halliburton et al., 2007). La cuestión de la calidad de los servicios se basa en el modelo sistémico de *gestión por resultados* que progresivamente deberán incorporar las organizaciones de la Administración Pública para incrementar la eficiencia y eficacia de sus productos y alcanzar un alto nivel de satisfacción de la ciudadanía.

El Servicio Geológico Minero Argentino se incorporó al PCCC en julio de 2000, comprometiéndose públicamente a realizar en el transcurso de los dos primeros años una serie de mejoras. En noviembre de 2004 el organismo firmó la Segunda Carta Compromiso con el Ciudadano, en la que se ampliaron la cantidad de Estándares de Calidad respecto de la Primera; es decir que se renovaron los compromisos, incorporando nuevos servicios y una mayor cantidad de estándares con un también mayor nivel de desafío. Actualmente el organismo ha finalizado la elaboración de su Tercera Carta Compromiso con el Ciudadano.

En el presente trabajo se desarrollan, en primer lugar, los principales aspectos teórico conceptuales del Programa Carta Compromiso con el Ciudadano. Se introduce luego una breve reseña histórica del SEGEMAR y una descripción de sus objetivos y productos. A continuación se sintetiza el proceso de implementación del Programa en el organismo y se analizan las dificultades y los interrogantes que fueron surgiendo a medida que los equipos trabajaban para construir el Mapa de Producción Externa, documento central del PCCC. Por último se explicitan los principales desafíos a enfrentar, de cara a la promoción de la mejora continua de los Sistemas de Calidad en organismos científicos tecnológicos de la Administración Pública.

El Programa Carta Compromiso (PCCC): un Sistema de Calidad centrado en el Ciudadano⁴

¿Qué es el Programa Carta Compromiso con el Ciudadano (PCCC)?

El Programa Carta Compromiso con el Ciudadano, institucionalizado mediante el Decreto 229/2000, tiene como finalidad principal mejorar la relación de la Administración Pública con los ciudadanos, especialmente a través de la calidad de los servicios que ella brinda. En este sentido, el Programa pretende restablecer la confianza del ciudadano en la Administración, mejorar su percepción acerca de los funcionarios del Estado y su relación con los mismos, legitimar la gestión de los organismos públicos y también establecer un mayor nivel de compromiso del ciudadano con sus obligaciones y su responsabilidad social.

El programa funciona en el ámbito de la Secretaría de Gabinete y Gestión Pública,

4 - En este apartado se siguen los lineamientos descriptos en los trabajos de Halliburton, 2005 y Halliburton et al., 2007.

dependiente de la Jefatura de Gabinete de Ministros, y consiste en un documento público en el que el organismo que adhiere explicita, entre otros aspectos, los derechos y las obligaciones de los usuarios o beneficiarios con relación a los servicios que presta la entidad, la forma de acceder a ellos y la calidad esperable de los mismos. También incorpora los compromisos de mejora a implementar en el futuro con plazos de ejecución estipulados y el modo de presentación de los reclamos y sugerencias, así como el sistema de información y comunicación y los mecanismos de participación ciudadana. De este modo, las Cartas Compromiso tienen una doble vertiente:

- Una vertiente externa, como medio de comunicación de los servicios que presta y de los estándares de calidad que la organización se compromete a cumplir con los ciudadanos.
- Una vertiente interna que obliga al servicio a reconsiderar todos los procesos para asegurar los estándares de calidad que se reflejarán en la Carta. Ello implica la definición de los estándares de una manera fiel y sobre todo *medible*, así como el monitoreo y el seguimiento del grado de cumplimiento de los compromisos, desplegando las acciones de mejora necesarias para conseguirlos. El principio interno que rige las Cartas es el de servir a los ciudadanos, mediante la mejora y la optimización de los recursos y los procesos de trabajo del organismo prestador de los servicios.

La Carta Compromiso es, entonces, un instrumento mediante el cual se ligan las demandas y necesidades del ciudadano respecto de un servicio público con la mejora que se debe producir en el interior de la organización para poder satisfacerlas.

Logros del Programa Carta Compromiso con el Ciudadano (PCCC)

La implementación y el desarrollo de las Cartas Compromiso han incrementado significativamente la capacidad de los ciudadanos para identificar sus derechos y obligaciones y hacerlos valer en el momento de solicitar y recibir los servicios. Además permitió difundir los productos y servicios que presta el organismo, sus estándares de calidad y compromisos de mejora, así como recibir una mejor atención en los puntos de contacto (lugar en el que se produce la interacción entre el organismo y los destinatarios de sus servicios). El Programa ha contribuido a optimizar aspectos relacionados con la accesibilidad espacial, las condiciones ambientales, la rapidez en la atención, la amabilidad y la profesionalidad del personal de atención al público⁵. Asimismo, y en la medida en que insta a los organismos a utilizar canales de comunicación variados, éstos se hacen más acordes a la comprensión del ciudadano, a la vez que permiten acceder a información específica sobre atención al público y a manuales, instructivos o guías para la realización de los trámites. Complementariamente, y atendiendo a la lógica que promueve *calidad con participación*, el Programa ha impulsado distintos modos de participación ciudadana en la planificación y el diseño de los servicios, en la evaluación de sus resultados y en el control de las organizaciones.

Desde el punto de vista organizacional, las Cartas colaboraron para aumentar el grado de receptividad de los funcionarios hacia las expectativas y necesidades de la ciudadanía, y han incluido la información relevada al respecto en el momento de definición de la misión

5 - Información disponible en:

http://www.sgp.gov.ar/contenidos/onig/carta_compromiso/paginas/resultados_del_programa.htm

y los objetivos del organismo, especialmente a partir de una mejor identificación de los destinatarios de los servicios y de los atributos de calidad valorados por éstos.

Desde una perspectiva de calidad, el PCCC ha podido estandarizar la mayor parte de los servicios brindados por los organismos en términos de las expectativas ciudadanas, a la vez que contribuido a instalar una cultura de la medición y la evaluación, a través de la creación de Unidades de Monitoreo y Evaluación Internas y la incorporación del Tablero de Control informático como una herramienta de gestión cotidiana.

Componentes centrales del Programa Carta Compromiso con el Ciudadano (PCCC)

La implementación del Programa incluye una serie de etapas sucesivas. En la primera se celebran los acuerdos institucionales necesarios para formalizar la incorporación del organismo al programa. Luego se realiza la preparación de los recursos humanos a través de la selección y la capacitación del equipo de trabajo y se diseña el plan o cronograma con las distintas actividades, fechas y responsables de las tareas de implementación.

Posteriormente se ponen en marcha las tareas iniciales del plan de trabajo, relacionadas con la recopilación de la información institucional básica sobre el organismo: su misión y objetivos, las normas que regulan su accionar y los derechos y obligaciones de los ciudadanos. En forma complementaria y conjunta se identifican y describen los macroprocesos, procesos, productos / servicios y destinatarios, es decir, se elabora lo que se denomina Mapa de Producción Externa de la organización.

Una vez finalizado el relevamiento de la información y el *Mapa de Producción*, se realiza el diagnóstico de la situación actual del organismo con relación los componentes centrales que conforman el Programa. Los componentes son:

a) Estándares de Calidad de los Servicios

A través de este componente el organismo se compromete a definir y dar a conocer públicamente los niveles de servicio - *estándares de calidad*⁶ - que sus destinatarios pueden razonablemente esperar en cada caso. El proceso de definición de los estándares requiere que la organización determine previamente los *factores o atributos de calidad*⁷ que, desde la perspectiva de la ciudadanía, deben poseer cada uno de los servicios para responder adecuadamente a sus necesidades y expectativas. Asimismo, demanda la construcción de *indicadores*⁸ que permitan medir y monitorear su desempeño y verificar los resultados finales obtenidos (cumplimiento de los estándares). Paralelamente se debe elaborar un plan de mejora - de corto, mediano o largo plazo, según los casos- para los servicios cuya prestación no alcanza niveles de razonabilidad, no cumple los objetivos establecidos o bien

6 - *Estándares de calidad*: son los valores a alcanzar que se consideran significativos para un factor o atributo de calidad. Se los considera un piso por debajo del cual, al menos a priori, debe ser considerado deficiente el nivel de desempeño del servicio prestado.

7 - *Factores o atributos de calidad*: son aquellos aspectos o características distintivos de un servicio que los ciudadanos (destinatarios, beneficiarios usuarios, regulados, etc.) identifican como necesarios para satisfacer plenamente sus expectativas, es decir, lo que necesitan y esperan.

8 - *Indicadores de calidad*: son los instrumentos de medición (cualitativos o cuantitativos) de los factores o atributos de calidad. El resultado de la medición (a través de esos instrumentos) es un valor que representa el nivel de desempeño efectivamente logrado por la organización, que al compararlo con estándares o metas establecidos permite determinar su cumplimiento.

éstos no pueden ser medidos. Aquellos que pueden ser modificados en el período anual de vigencia de la Carta, se incluyen en la misma como *Compromisos de Mejora*.

b) Sistema de Información y Comunicación con el Ciudadano

A través de este Componente se enumeran y detallan las características de las herramientas de comunicación e información con que cuenta el organismo. El objetivo es brindar los datos necesarios al ciudadano para el conocimiento de los servicios ofrecidos, las formas de acceso a los mismos o sus derechos y obligaciones, así como lograr la confluencia de las expectativas de los ciudadanos con el desempeño esperable de las organizaciones, con el fin de garantizar el cumplimiento de los compromisos adquiridos por los organismos prestadores.

c) Sistema de Participación Ciudadana

El diseño del componente Participación Ciudadana es una de las actividades a desarrollar en el proceso de elaboración de la Carta. Ello implica un relevamiento de las prácticas de participación existentes en el organismo y el establecimiento de las metas y los compromisos de mejora para el período de vigencia de la Carta Compromiso. Su inclusión dentro de las Cartas supone un cambio de concepción respecto de los destinatarios de los servicios mediante el cual se pretende que, en lugar de considerarlos *objetos* pasivos de la formulación de las políticas y de su implementación, puedan constituirse sólidamente en *sujetos* activos, que incorporan su opinión y puntos de vista a los procesos de toma de decisiones y ejercen el control sobre el desempeño de las organizaciones públicas.

d) Monitoreo y Evaluación de las actividades y Resultados

Conforme a las pautas establecidas en el Programa, cada uno de los organismos involucrados debe realizar periódicamente un monitoreo de la ejecución de la Carta Compromiso y una evaluación de los resultados obtenidos, con la finalidad de generar información sustantiva para la toma de decisiones de las autoridades. El proceso de evaluación se inicia con la medición y el monitoreo de los compromisos asumidos en las Cartas y culmina con la evaluación de los resultados finales logrados por el organismo.

Significación del PCCC en Organismos Científico Tecnológicos de la Administración Pública Argentina.

Los organismos científico-tecnológicos son aquellos que desarrollan actividades relacionadas con la producción, la promoción, la difusión y la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos en todos los campos de la ciencia y la tecnología. En Argentina, los organismos e instituciones públicas que componen el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación son: a) el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; b) la Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA; c) el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA; d) el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI; e) la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE; f) el Servicio Geológico Minero Argentino, SEGEMAR; g) el Instituto Nacional de Desarrollo Pesquero, INIDEP; h) el Instituto Nacional del Agua, INA; i) el Centro de Investigación Tecnológica de las Fuerzas Armadas, CITEFA; j) la Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud, ANLIS.

La importancia de implementar sistemas de calidad en esta categoría de organismos queda en evidencia si se tiene en cuenta que es a través de sus acciones que se procura cumplir con los objetivos de la política científica y tecnológica nacional expresados en la Ley N° 25.467 del año 2001. La Ley establece que:

“El Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación propone debe impulsar, fomentar y consolidar la generación y aprovechamiento social de los conocimientos; Difundir, transferir, articular y diseminar dichos conocimientos; Contribuir al bienestar social, mejorando la calidad de la educación, la salud, la vivienda, las comunicaciones y los transportes; Estimular y garantizar la investigación básica, aplicada, el desarrollo tecnológico y la formación de investigadores/as y tecnólogos/as; Desarrollar y fortalecer la capacidad tecnológica y competitiva del sistema productivo de bienes y servicios y, en particular, de las pequeñas y medianas empresas; Potenciar y orientar la investigación científica y tecnológica, estableciendo planes y programas prioritarios; Promover mecanismos de coordinación entre los organismos del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación; Garantizar la igualdad en oportunidades para personas, organismos y regiones de la Nación; Impulsar acciones de cooperación científica y tecnológica a nivel internacional, con especial énfasis en la región MERCOSUR y promover el desarrollo armónico de las distintas disciplinas y de las regiones que integran el país, teniendo en cuenta la realidad geográfica en la que ésta se desenvuelve”.

Albornoz (2005) menciona que la creación de organismos científico tecnológicos se puede explicar en función de tres factores: en primer lugar, el auge de la teoría del desarrollo; en segundo lugar, la creencia acerca de que el Estado debía desempeñar un papel protagónico en el estímulo y la producción de conocimientos científicos y tecnológicos y que, asimismo, era necesario desarrollar una verdadera planificación de dichas actividades; en tercer lugar, la difusión de modelos institucionales para la planificación, la promoción y la producción de conocimientos difundidos por agencias internacionales como UNESCO y OEA.

La decisión de realizar Carta Compromiso en organismos científico-tecnológicos se fundamentó en la noción de que el papel fundamental que posee la ciencia hoy requiere de un proceso de divulgación constante, orientado a acercar a la sociedad el trabajo científico y de investigación, el conocimiento producido y los avances y las aplicaciones alcanzados. Del mismo modo, el campo de la ciencia y la tecnología se modifica permanentemente, exigiendo una actualización periódica de las políticas públicas en esta materia.

“El contexto en el que se procesa socialmente el conocimiento ha cambiado profundamente en los últimos años, como resultado de varias tendencias dinámicas y complejas. Entre ellas, el doble proceso por el cual, de una parte, el conocimiento se ha convertido en el más importante impulsor del proceso de crecimiento económico y en un elemento que dinamiza el cambio social en tanto que, de otra, ha ido perdiendo vigencia el modelo lineal basado en el necesario predominio de la investigación básica. El nuevo contexto plantea fuertes desafíos al concepto de política científica entendida como política de investigación, para incorporar nuevos enfoques relativos al flujo de la información y a la difusión, así como a la apropiación de los conocimientos.” (Albornoz, 2005)

El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) es uno de los primeros, entre los organismos e instituciones públicas que componen el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, que implementa un sistema de calidad centrado en el ciudadano. En tal sentido, el proceso de implementación de Carta Compromiso llevado a cabo constituye una experiencia y proporciona aprendizajes significativos para la mejora continua centrada en el ciudadano en otros organismos científico-tecnológicos

La Implementación del PCCC en el Servicio Geológico Minero (SEGEMAR)

Antes de comenzar a describir el proceso de implementación del PCCC en el SEGEMAR, las dificultades que surgieron y las reflexiones que la experiencia suscitó, es pertinente efectuar una breve reseña histórica del organismo y una síntesis del tipo de tareas que éste desarrolla. De esta forma es posible tener una idea de su estructura organizativa y de sus recursos humanos y técnicos, en gran medida característicos e isomórficos con los de otros organismos científico-tecnológicos. Igualmente, la información relativa a la historia y las funciones del SEGEMAR permite inferir la complejidad implicada en sus procesos productivos, contribuyendo a una mejor comprensión de los desafíos que más adelante habrán de señalarse.

El SEGEMAR es un organismo nacional de larga tradición en la producción de información geológica, geológica-minera y temática territorial. Su origen se remonta a 1885, con la creación de la “Sección Minas” del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Nación. En 1904 se consolidó como División de Minas, Geología e Hidrología, organismo que a través del tiempo y la continuidad de misiones y funciones es el antecesor directo del SEGEMAR. Desde sus orígenes sus actividades estuvieron vinculadas con la exploración minera, petrolera, de carbón y de aguas subterráneas. En sus 104 años continuos al servicio del conocimiento del territorio y sus recursos naturales el SEGEMAR es uno de los organismos nacionales con mayor trayectoria en la investigación científica aplicada. Entre sus logros principales se destacan el descubrimiento del petróleo en Comodoro Rivadavia, Neuquén y Salta y el abastecimiento de agua potable a centenares de localidades del interior del país. Puede sostenerse que es el principal centro de investigación geológica del país. Entre las décadas de los ‘60 y los ‘80, la institución realizó importantes planes de exploración regional que, junto a los aportes efectuados por la Dirección General de Fabricaciones Militares, facilitaron y dieron sustento a la exploración y la explotación minera en tiempos recientes.

Más del 80% de los prospectos mineros conocidos han sido hallados por el Estado. Sin embargo, hasta 1990 sólo el 15% de la superficie del país se encontraba cubierta de cartografía geológica sistemática. En 1994, en el contexto de una nueva política minera, el Estado propició el dictado de la ley 24.224 de Reordenamiento Minero, que declaró de interés público el carteo geológico sistemático del territorio nacional a través del Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas.

En los últimos años el SEGEMAR ha incorporado nuevas metas relacionadas con la transferencia de tecnología, el apoyo a las PYMES mineras, el medio ambiente, la planificación territorial y las amenazas naturales.

Recreado en 1996 en el marco de la Reforma del Estado, el SEGEMAR se fortaleció mediante la fusión de la Dirección Nacional del Servicio Geológico y el Instituto Nacional de Tecnología Minera. Desde entonces, es un organismo de carácter científico técnico, descentralizado, dependiente de la Secretaría de Minería del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

Tareas, estructura organizacional, recursos humanos y tecnológicos del SEGEMAR

El SEGEMAR comprende una administración central y dos unidades especializadas: el Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM) y el Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN).

El Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM) es responsable de la generación de información geológica sistemática y de base del territorio nacional. A los efectos de asegurar el adecuado conocimiento de las características geológicas de la integralidad del territorio argentino y responder a la creciente demanda de información, el IGRM ha intensificado la instrumentación del Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas. Este programa tiene por objetivo principal lograr el conocimiento acabado de las peculiaridades geológicas del territorio nacional. Se trata de identificar, registrar y entender el significado de los distintos tipos de materiales y rocas que constituyen el substrato del suelo y subsuelo. Para ello el Instituto cuenta con técnicos y científicos que rutinariamente envía a realizar observaciones y mediciones en el terreno, asistidos por estudios previos basados en el aprovechamiento de la información generada por la tecnología satelital. Ese cuerpo técnico es el principal patrimonio del Instituto, en tanto que por la naturaleza de su trabajo sus integrantes se encuentran entre los principales expertos con que cuenta el país, en relación con las características geológicas de sus distintas regiones. La información generada es volcada en bases de datos y mapas y en los últimos años, en sistemas de información geográfica. El conocimiento adquirido es indispensable tanto para evaluar los recursos naturales como para la planificación de uso del territorio y la prevención de los desastres naturales. Indudablemente el Programa es un emprendimiento de largo alcance y, tal vez, uno de los proyectos de investigación más ambiciosos e importantes que implementa el Estado Nacional.

La instrumentación concreta del Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas, dada la inmensidad del territorio, incorpora el concepto de grados y tipos de conocimiento. Por un lado se trata de avanzar desde la información regional a la de mayor detalle. Ello se traduce técnicamente en el concepto de las escalas y densidad de información. Es decir que las evaluaciones sistemáticas están organizados en secuencias de escala, desde las continentales, como son las correspondientes a 1:5.000.000 y 1:2.500.000, las regionales (1:1.000.000 y 1:500.000) y las de mayor detalle relativo como son las correspondientes a 1:250.000 y 1:100.000. Por fuera de los trabajos sistemáticos, el Instituto desarrolla proyectos especiales de mayor detalle.

Con respecto a los tipos de conocimiento, el Programa reconoce que la geología abarca una serie de disciplinas complementarias, cada una de las cuales comprende métodos y técnicas diferenciadas. Por ello, además de los estudios geológicos propiamente dichos, el Instituto desarrolla relevamientos destinados a reconocer las características, geofísicas (magnetismo y gravedad), geoquímicas, geomorfológicas, hídricas y geotermiales del territorio.

Asimismo, el Programa incluye actividades genéricamente llamadas temáticas, en el sentido que utilizan la información básica como punto de partida para análisis específicos. Entre ellos se destacan las actividades vinculadas con la génesis de minerales de interés económico y el potencial minero regional, la peligrosidad geológica y la línea de base ambiental y en proyectos específicos, el ordenamiento territorial.

Para el logro de sus objetivos el Instituto sostiene dos áreas expertas de apoyo a las distintas actividades. Por un lado, un grupo que utiliza la información satelital como primera herramienta para la realización de todos los relevamientos y estudios en el terreno; la otra área refiere a la cartografía, hoy digital y los sistemas de información geográfica.

El Instituto de Geología y Recursos Minerales está organizado en una Dirección Nacional y tres Direcciones sectoriales:

1) La Dirección de Geología Regional tiene la responsabilidad de implementar el Programa Nacional de Cartas Geológicas en distintas escalas, con el objetivo de actualizar y profundizar el conocimiento geológico del país. Sus programas sistemáticos son el Mapa Geológico de la República Argentina a escala 1:5.000.000, 1:2.500.000, los Mapas Geológicos Provinciales a escala 1:750.000 y 1:500.000, según las provincias, y la Carta Geológica a escala 1:250.000 y 1:100.000. Implementa la iniciativa de "Sitios de interés Geológico", destinada a poner en valor cultural y turístico los sitios del país destacados por sus peculiaridades geológicas.

2) La Dirección de Recursos Geológico-Mineros es el área que suministra información, mapas y geo-datos que permiten definir la génesis y el modo de ocurrencia de yacimientos de minerales y rocas de interés económico, mediante investigaciones metalogénicas, geotermiales, geoquímicas y geofísicas y estudios calcográficos, de alteraciones hidrotermales y de inclusiones fluidas. Sus programas sistemáticos enfocan las síntesis regionales de escala 1:2.500.000 y el núcleo de los relevamientos se realiza a la escala de 1:250.000. Desarrolla numerosos proyectos no sistemáticos vinculados a los objetivos generales de la unidad.

3) La Dirección de Geología Ambiental y Aplicada es la unidad que programa y ejecuta la cartografía geológico-ambiental aplicada al estudio de las amenazas naturales y al ordenamiento territorial; realiza estudios geomorfológicos, hídricos, de peligrosidad geológica, líneas de base ambiental y ordenamiento territorial. Efectúa el inventario de los pasivos ambientales mineros del país. Sus programas sistemáticos se realizan en la escala de 1:250.000. Desarrolla numerosos proyectos no sistemáticos vinculados a los objetivos generales de la unidad, frecuentemente desarrollados en forma conjunta con provincias y municipios. En los últimos años ha desarrollado una importante actividad vinculada al ordenamiento territorial.

El Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN) es el Instituto de asistencia tecnológica que tiene como objetivo apoyar y promover la actualización tecnológica del sector minero y usuarios de materias primas minerales del Gobierno Nacional, Provinciales y Municipales. La misión del INTEMIN es aportar al desarrollo del sector productivo de las pequeñas y medianas empresas mineras, modernizado tecnológicamente con la gestión de la calidad en sus procesos y productos. Los procesos sustantivos desarrollados por el INTEMIN comprenden un número variable de actividades relacionadas, desde ensayos a escala de laboratorio y planta piloto, hasta la elaboración de estudios integrales técnicos tendientes a mejorar las operaciones mineras. Los destinatarios de los servicios son empresas y productores de diferente magnitud, como así también consumidores de minerales que necesitan controlar la calidad y especificaciones técnicas de sus insumos. El INTEMIN está organizado en las direcciones de Geología Aplicada, Laboratorio Químico, Materiales y Procesamiento

El trabajo de los equipos en la implementación de PCCC en el SEGEMAR

En conjunto, las tareas necesarias para implementar el PCCC exigen la conformación de distintos equipos de trabajo con características diversas. Por una parte, el organismo debe conformar un equipo que reúna a los *responsables político técnicos*⁹ y a los *facilitadores*¹⁰. Los primeros son designados por la autoridad del mismo, con la finalidad de actuar como garantes de que los estándares e indicadores de servicio que habrán de construirse, tanto como los compromisos de mejora, estarán en consonancia con las políticas y objetivos estratégicos de la institución. Los facilitadores, en cambio, son personal de línea que conoce en profundidad la tarea, los procesos y los productos del organismo y, especialmente, los atributos de calidad de los servicios más valorados por los destinatarios.

El equipo así formado interactúa con el *equipo externo de asistencia técnica*¹¹ cuya función es transferir los aspectos conceptuales y metodológicos, capacitar y sensibilizar al personal del organismo, desarrollar los planes de trabajo, proponer la incorporación de herramientas de gestión e innovaciones que mejoren la calidad de los servicios y brindar orientación técnica para la determinación de los compromisos de calidad a incluirse en la Carta, entre otras funciones. (Halliburton et al, 2007). Ambos equipos tienen como objetivo la integración de aspectos propios de cada uno que deben aunarse para lograr la adecuada implementación.

La FIGURA N° 1 sintetiza el mapa de procesos y productos del *equipo externo de asistencia técnica*, que es el equipo responsable de la experiencia recogida por este artículo. La FIGURA recrea en su lógica al *Mapa de Producción Externa* que propone el PCCC como documento central para expresar los modos de trabajo de los organismos adheridos, y tiene por finalidad sintetizar las tareas emprendidas por el *equipo externo de asistencia técnica*.

La primera columna refiere a los macroprocesos, es decir, a los agrupamientos de procesos destinados al cumplimiento del objetivo de implementar el Sistema de calidad. La columna central describe los procesos que llevan a cabo los equipos técnicos en conjunto y la tercera columna presenta los resultados/productos que ambos van logrando consolidar a medida que los macroprocesos y los procesos se van cumpliendo.

9 - El Programa trabaja con distintos referentes que cumplen este rol: Directores Nacionales y Directores Simples, Gerentes y Subgerentes, Jefes de Áreas o Departamentos, Supervisores, Asesores, que promueven, coordinan y dinamizan el desarrollo del Programa en sus respectivos organismos. (Halliburton et al, 2007)

10 - Los facilitadores son aquellos miembros del organismo que llevan adelante el proceso de implementación, contando para ello con capacitación, asistencia técnica y acompañamiento de la Unidad Coordinadora del Programa desde la Subsecretaría de la Gestión Pública. (Halliburton et. Al, 2007)

11 - Equipo de Consultores Especialistas de la Secretaría de Gabinete y Gestión Pública de la Nación (Argentina) y del Banco Mundial.

Macroprocesos	Procesos claves	Productos
1. ESTABLECIMIENTO DE LOS ACUERDOS INSTITUCIONALES	Suscripción del Convenio de Asistencia Técnica: → Organización de la firma del convenio	Organismo público incorporado al Programa
2. CREACIÓN Y CAPACITACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO	Selección del equipo: → Designación del Responsable Político Técnico → Designación del Equipo de facilitadores Capacitación de los facilitadores: → Realización de Talleres Consolidación del equipo: → Realización de diferentes dinámicas grupales Sensibilización del personal del organismo: Acciones presenciales: → Reuniones → Visitas → Actividades de difusión Actividades remotas: → Difusión vía e-mail de los materiales → Difusión de la página Web del Programa	Equipos de trabajo conformados, capacitados, sensibilizados y comprometidos Capacitaciones específicas a nuevas áreas / facilitadores
3. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	Diseño del plan de actividades para la elaboración de la Carta: → Confección de un cronograma con las fechas, actividades y responsables de las tareas → Cierre del cronograma con el RPT y el equipo de facilitadores	Actividades planificadas y consensuadas
4. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS Y DESTINATARIOS DEL ORGANISMO	Recolección de información general: → Normativa → Derechos y obligaciones de los ciudadanos → Misión → Objetivos → Destinatarios → Servicios Elaboración del Mapa de Producción Externa: → Descripción de los objetivos del organismo → Identificación de los macroprocesos y procesos → Identificación de los servicios / productos → Identificación de los destinatarios → Identificación de los atributos de calidad	→ Normativa relevada → Derechos y obligaciones identificados → Determinación de la misión y objetivos → Servicios y destinatarios descriptos → Mapa de producción de la organización elaborado → Atributos de calidad identificados
5. SERVICIOS ESENCIALES	→ Descripción de los servicios esenciales → Definición de los estándares de calidad → Identificación del atributo de calidad → Formulación de los indicadores → Definición de la frecuencia de medición → Definición de los registros de datos para las mediciones → Definición de los compromisos de mejora y plan de implementación	→ Servicios esenciales descriptos → Estándares, compromisos de mejora y formas de medición definidas
6. PUNTOS DE CONTACTO	→ Identificación y descripción de los Puntos de Contacto → Definición de los estándares de calidad → Identificación del atributo de calidad → Formulación de los indicadores → Definición de la frecuencia de medición → Definición de los registros de datos para las mediciones → Definición de los compromisos de mejora y plan de implementación	→ Puntos de Contacto descriptos → Estándares, compromisos de mejora y formas de medición definidas

7. SISTEMA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> → Identificación de los canales de comunicación → Establecimiento de metas y formas de medición (indicadores, frecuencia y registro) → Establecimiento de compromisos de mejora y su plan de implementación → Reuniones con el equipo de comunicación para definir el diseño de folletos, carteleros, afiches, etc. → Tareas de sensibilización, coordinación y asistencia para implementar nuevas herramientas de Comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> → Canales de comunicación descriptos → Metas y compromisos de mejora establecidos → Formas de medición determinadas → Nuevas herramientas de Comunicación implementadas
8. SISTEMA DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA	<ul style="list-style-type: none"> → Identificación de las modalidades de participación ciudadana → Establecimiento de metas y formas de medición (indicadores, frecuencia y registro) → Establecimiento de compromisos de mejora y su plan de implementación → Reuniones con el equipo de participación para el diseño de encuestas y el sistema de sugerencias y reclamos → Tareas de sensibilización, coordinación y asistencia para implementar nuevas herramientas de Participación. 	<ul style="list-style-type: none"> → Herramientas de participación descriptas → Metas y compromisos de mejora establecidos → Formas de medición determinadas → Nuevas herramientas de Participación implementadas. → Resultados de herramientas de participación presentados, analizados y difundidos.
9. DIFUSIÓN INTERNA PARA EL CONOCIMIENTO DEL PERSONAL	<ul style="list-style-type: none"> → Reuniones de sensibilización con el personal del organismo para difundir los contenidos y utilidad de la Carta → Recolección de opiniones y sugerencias para incorporar en la versión definitiva de la Carta → Implementación de las estrategias y herramientas de comunicación externa 	Estrategia de comunicación interna implementada
10. REDACCIÓN, SUSCRIPCIÓN Y DIFUSIÓN EXTERNA DE LA CARTA COMPROMISO	<p>Elaboración del texto definitivo de la Carta Compromiso:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Consultar y chequear con el máximo responsable del organismo <p>Suscripción de la Carta:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Organización del evento: <ul style="list-style-type: none"> → Contacto con el área de ceremonial y protocolo → Designación del lugar físico → Confección del listado de invitados → Envío de invitaciones <p>Difusión externa:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Medios propios del organismo → Medios masivos de comunicación 	Versión definitiva de la Carta Compromiso con el Ciudadano
11. MONITOREO DE LA CARTA COMPROMISO	<ul style="list-style-type: none"> → Carga de los estándares, compromisos de mejora y formas de medición en el tablero de control → Acordar reuniones con el equipo de monitoreo para la sensibilización en el organismo sobre la carga de las mediciones → Designación de la Unidad de Monitoreo Interna → Revisión y cierre mensual de las mediciones → Coordinación de tareas de monitoreo, asistencia para uso de TC → Análisis y presentación de información para la toma de decisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> → Tablero de control cargado → Sensibilización en la carga de mediciones realizada → Unidad de Monitoreo Interna conformada → Tablero de Control cerrado → Facilitadores asistidos en uso de TC. → Información de monitoreo analizada y difundida.

Figura N° 1. Mapa de procesos y productos de la implementación del PCC.

Es importante aquí señalar que la dinámica expresada en la FIGURA N° 1 y cumplida en la implementación del PCCC en el SEGEMAR es la misma que se utiliza para implementar el PCCC en todos los organismos nacionales y subnacionales de la administración pública. Sin embargo, el esfuerzo de sistematizar la experiencia que el equipo de *Asistencia Técnica* realizó al confeccionar la FIGURA 1 abrió interrogantes en relación con la especificidad de los organismos científico-tecnológicos, en comparación con otros de muy distinta naturaleza.

En la Administración Pública Argentina hay organismos diferentes tipologías de organismos: los hay registrales, como el Registro Nacional de las Personas (RENAPER); de control y regulación, como el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) o el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS); de derechos y prestaciones, como el Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados (PAMI), la Administración Nacional de Seguridad Social (ANSES) o el Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI); de seguridad y defensa como Prefectura y Policía Federal. Las preguntas que comenzaron a surgir en este punto se refieren a particularidades, rasgos y características encontradas en el SEGEMAR que son comunes a otros organismos de producción de conocimiento pero que no se presentan en las demás categorías de organismos. Las próximas líneas se concentran en explorar esas peculiaridades.

Dificultades, reflexiones y desafíos que surgen de la implementación del PCCC en el SEGEMAR

Identificación de los productos de la organización

Siguiendo siempre la FIGURA 1, la primera tarea de los equipos técnicos fue la identificación de la producción integral externa de la organización y de los resultados a alcanzar, conforme a las políticas públicas definidas y a la misión y los objetivos fijados por su dirección. Se trató de un relevamiento en el que el protagonismo del *equipo de facilitadores* estuvo focalizado en identificar y describir cada uno de los productos que el organismo presta. El papel del *equipo de asistencia técnica* en esa instancia fue el de contribuir al análisis, de modo de poder establecer la relación entre políticas públicas, objetivos de la organización y productos concretos. En ocasiones, esta triple relación no es tan clara para todos los protagonistas y da lugar a ricas discusiones al interior del organismo acerca de la propia labor.

Específicamente, con relación a la identificación y descripción de los *productos*, la mayor dificultad surgió a partir de la multiplicidad de productos científicos y tecnológicos que ofrece la organización, tales como actividades de investigación; trabajo de campo; asesoramiento y asistencia técnica; elaboración de diagnósticos; producción de textos y materiales; elaboración de manuales y guías, publicaciones, disertaciones, organización de talleres; actividades de extensión y capacitación; etc.

Como resultado de ese trabajo quedó registrada la misión y objetivos centrales de cada una de las organizaciones que conforman al SEGEMAR y los productos/servicios finales que se identificaron como los destinados a dar respuestas a esos objetivos. En la FIGURA 2 se presenta un fragmento del Mapa de Producción Externa en el que pueden

observarse tres de los productos/servicios del SEGEMAR relacionados con uno de los objetivos del organismo¹².

Objetivos de la organización	Macro-procesos	Procesos	Productos / servicios	Destinatarios
Generar y procesar la información geológico-minera y tecnológica de los recursos naturales, suelo Subsuelo y agua y propender al uso racional de los mismos			<p>→ Cartas Geológicas a distintas escalas</p> <p>→ Inventario de Sitios de Interés geológico.</p> <p>→ Mapa mundial al Millonésimo</p>	

FIGURA 2. Fragmento del Mapa de Producción Externa del SEGEMAR. Objetivos; Productos / Servicios. Fuente: Tercera Carta Compromiso con el Ciudadano del SEGEMAR (2008). Programa CCC. Proyecto de Modernización del Estado. Jefatura de Gabinete y Gestión Pública.

Logrado el listado completo, que quedó consolidado en el documento CCC, cabe ahondar aún en algunas consideraciones que surgen al reflexionar sobre la naturaleza de los productos/servicios de un organismo científico tecnológico.

Un problema que se originó al intentar definir con claridad los productos/servicios del SEGEMAR, y que es común a otros organismos de producción de conocimiento, es que muchos de ellos son, no sólo intangibles -ya que no tienen un sustrato material- sino también virtuales. Ello significa que son productos/servicios *en potencia*, que no siempre se actualizan o que si lo hacen pueden no ser percibidos y reconocidos con facilidad. Tal como señalan Estébanez y Korsunsky (2002), hay resultados directos e indirectos en la labor de creación de nuevo conocimiento, habilidades y experiencia que se logran en el acceso a la frontera del saber científico y tecnológico, recursos institucionales que se concretan (infraestructura, equipamientos) y culturales que se consolidan (prestigio, validación y legitimación, etc.)

Asimismo, los autores mencionan que los canales por los cuales fluye esta diversidad de tipos de conocimientos describe una trama compleja, cuya conformación está asociada tanto a factores del contexto institucional -a los tipos de prácticas implementadas en la producción y transferencia del conocimiento- como así también en el carácter de los recursos cognitivos - si son tácitos o codificados; si son específicos o genéricos; si son o no discretos- .

12 - La CCC del SEGEMAR describe *todos* los productos externos del organismo. Puede verse en www.segemar.gov.ar

Estas características inciden en la transferencia y la apropiabilidad de los conocimientos y en cierto sentido configuran productos/servicios diferentes. Por ejemplo, una *Carta de Peligrosidad Geológica* es una clase de producto si ésta se edita como documento de circulación restringida y es otro tipo de producto si se la distribuye en todas las zonas potencialmente afectadas y se realizan talleres que faciliten la comprensión de su lectura a distintos actores sociales.

En la práctica de construcción del Mapa de Producción Externa del organismo una diversidad tal de productos intangibles y virtuales no fue considerada. La lógica del Programa, en lo que atañe a identificar productos/servicios, es la misma que para otras tipologías de organismos no científicos: *un producto esencial es aquel que permite cumplir con los objetivos de la organización*. Pero los objetivos más concretos de los organismos científico-tecnológicos se materializan generalmente en documentos que publican los resultados de sus investigaciones y acciones. Entonces aquellos otros objetivos, de naturaleza más amplia y abstracta – por ejemplo *propender al uso racional de los recursos naturales*- no quedan completamente satisfechos, pues no logran identificarse productos intangibles y virtuales asociados a estos objetivos. Visto así, el trabajo de identificación de los productos/servicios no valora tanto como podría una significativa dimensión productiva propia de las instituciones generadoras de conocimiento.

Puede objetarse con justicia la pretensión de describir una gama de productos de naturaleza intangible y virtual, que ello supone un corrimiento en la frontera de lo que los programas de calidad definen como productos/servicios de una organización, dando lugar a un espacio en el que se mezclan las nociones de *resultado, impacto, efecto o logro* y que la divisorio conceptual resulta difusa y controversial.

En este cruce es, entonces, que se constituye el primer desafío a enfrentar: el de identificar los productos/servicios de las organizaciones científico-tecnológicas de modo que éstos reflejen con mayor riqueza su naturaleza tangible e intangible, concreta y virtual; pero a la vez continúen siendo productos y servicios medibles, en tanto resultado de una actividad institucional programada y controlable.

Identificación de los destinatarios de los servicios de la organización

Identificados los productos/servicios, la tarea siguiente consistió en determinar los destinatarios de cada uno de éstos. El Programa CCC, como otros programas de calidad, se centra en las necesidades y las expectativas del cliente/destinatario. En general, los organismos de la Administración Pública tienen dos grandes tipos de destinatarios: el *ciudadano directo* o bien el *organismo, empresa o institución regulada*. Así, el lenguaje, el nivel de especificidad de las descripciones de los productos y procesos y los atributos de interés valorados se debe adecuar en la confección del Mapa a cada uno de estos dos tipos de destinatarios.

Durante el proceso de implementación de CCC un conjunto de dificultades surgieron, nuevamente, a partir de la multiplicidad. En esta ocasión, multiplicidad de usuarios. Para el SEGEMAR se identificaron los siguientes destinatarios:

- Gobierno Nacional, Gobiernos Provinciales y Municipales.
- Organismos de planificación territorial.
- Sistema científico-tecnológico, educativo.

- Empresas de exploración, empresas mineras.
- Empresas petroleras.
- Empresas Ambientales.
- Consumidores de materias primas minerales.
- Profesionales relacionados con el área de acción del organismo.
- Estudiantes / Sistema Educativo.
- Organismos de planificación y gestión de emergencias.
- Organismos no gubernamentales.
- Organismos geocientíficos extranjeros.
- Organismos Internacionales.
- Ciudadanía en general.

Adicionalmente, si se profundiza el análisis relativo a la identificación de destinatarios de los servicios, éstos se pueden también clasificar en intermedios y finales. Según Estébanez (2002) es posible distinguir situaciones donde individuos, grupos u organizaciones se constituyen en *usuarios intermedios* al aplicar conocimiento científico y tecnológico en la generación de nuevos bienes o servicios con una intencionalidad definida (económica, social o política). Por ejemplo, un organismo gubernamental del área de salud pública que diseña una nueva política sanitaria luego de recibir asesoramiento científico sobre el modo de transmisión de una nueva enfermedad. Por otro lado, se encuentran situaciones donde se constituye en *usuarios finales*, ya sea a través del consumo de estos bienes o bien, sin mediar necesariamente una intencionalidad, a través de una incidencia en sus prácticas regulares. En este último caso los usuarios son, a su vez, sujetos de impacto ya sea como beneficiados o perjudicados por los efectos de dicho uso. Por ejemplo, una empresa que incorpora nuevas tecnologías de información y comunicación para mejorar su gestión o una población que cambia sus hábitos alimenticios a partir de la difusión de nuevos conocimientos sobre los efectos de los alimentos transgénicos en la salud.

Esta gran diversidad de destinatarios plantea primero, un desafío significativo en términos comunicacionales. ¿Cómo resolver la cuestión de los múltiples lenguajes y definir una estrategia apropiada para llegar a estos diferentes públicos? Se vuelve dificultoso traducir procesos de conocimiento científico y tecnológico desde los lenguajes específicos de la disciplina de origen (vocabulario científico) hacia el lenguaje del receptor (lenguajes políticos, técnicos) o, en general, a lenguajes de mayor comprensión pública.

Pero la diversidad de destinatarios enfrenta al proceso de implementación con desafíos aún mayores, a saber: los relacionados con la determinación del grado de precisión que han de tener las descripciones de los *macroprocesos* y *los procesos* de la organización y con la *naturaleza de los estándares de calidad* para que éstos resulten relevantes a los diferentes destinatarios.

Descripción de los macroprocesos y los procesos de la organización

Observando nuevamente el Mapa de Producción del SEGEMAR tal como se ha presentado hasta el momento en la FIGURA 2, puede advertirse que las columnas de macroprocesos y procesos están en ese esquema vacías. Completarlas implica no sólo conocer cómo se llega -en una visión sistémica- a la consecución de cada servicio/

producto final, sino especialmente, a establecer cuáles procesos son relevantes para el destinatario de los compromisos que asume la Carta. Como veremos, tales definiciones no son automáticas.

El Programa CCC, como todos los Sistemas de Calidad, responde al esquema de gestión por resultados, redefine a la administración pública como prestadora de servicios y se basa en el supuesto de que la demanda actual de la ciudadanía hacia los organismos públicos no está centrada en el cumplimiento exacto de los procesos y de las normas que los regulan, sino en que se atiendan adecuadamente las necesidades y expectativas de los destinatarios de dichos servicios. En este sentido, el modelo no genera registros del cumplimiento de los procedimientos internos, sino que describe los procesos y macroprocesos únicamente en la medida en que interesan directamente al destinatario. Dicho esto con un ejemplo: si un ciudadano necesita obtener su DNI, le interesa principalmente que se lo entreguen sin errores y en un tiempo razonable, pero le importan en menor medida cuáles fueron los pasos y procedimientos utilizados para elaborarlo. El Mapa de Producción procura reflejar este bajo interés del ciudadano por lo que ocurre al interior del organismo presentando los procesos internos de manera muy general.

Otros Sistemas de Calidad, son en cambio, muy minuciosos en la atención que brindan a los procesos internos con el supuesto de que un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso. En tal sentido se interesan no solo por aquellos que hacen a la realización o provisión directa de los productos, sino también otros procesos de gestión, tales como gestión de recursos, comunicación, servicios, auditoría interna, etc. En este tipo de modelo, las columnas de macroprocesos y procesos presentadas en la FIGURA 2 merecerían un amplio desarrollo de caminos críticos con inclusión de estándares e indicadores de procesos.

La lógica de Carta Compromiso no prevé este énfasis en los procesos, pues como se ha subrayado, sin dejar de mencionarlos, se centra en los resultados valorados por los destinatarios. En otras palabras, hay una falta de precisión *ex profeso* en la descripción de los procesos, en función de la premisa de centrar el Programa en los resultados que cumplen las expectativas del cliente/ciudadano y los objetivos sustantivos de la organización. Y así se expresa en la *Guía para la elaboración de la CCC*:

“Es importante aclarar que no es necesario incluir en este mapa los productos intermedios, o sea, aquellos cuya producción es exigida por los productos finales y, en consecuencia, constituyen nudos intermedios de la red de producción que realiza la institución. En una interpretación más amplia, los productos intermedios son todas aquellas salidas (outputs) generadas por cada sector, área o persona cuyo destinatario es otra área, sector o persona dentro del organismo. Tampoco se incluyen los denominados procesos de apoyo (Mesa de Entradas, Informática, Recursos Humanos, Servicio Administrativo-Financiero, Compras y Contrataciones, etc.) Finalmente, tampoco se incluyen los procesos de gestión o estratégicos (organización, planificación, etc.)”. (Halliburton et al, 2007)

Sobre la base del criterio descrito, en el proceso concreto de construcción del Mapa de Producción del SEGEMAR se identificaron de manera genérica los macroprocesos y procesos implicados en la consecución de los productos/servicios, tal como se muestra en la Figura 3.

Objetivos de la organización	Macroproceso	Procesos	Servicios / Productos	Destinatarios
Generar y procesar la información geológico-minera y tecnológica de los recursos naturales, suelo Subsuelo y agua y propender al uso racional de los mismos	Producción de información geológica y temática del territorio nacional a distintas escalas	Identificación, registro y comprensión del significado de los distintos tipos de materiales y rocas que constituyen el substrato del suelo y subsuelo del territorio nacional	Cartas Geológicas a distintas escalas Inventario de Sitios de Interés geológico. Mapa mundial al Millonésimo Mapas y publicaciones regionales y de síntesis 1:500.000 1:750.000 1:1.000.000 1:2.500.000 1:5.000.000	Empresas de exploración Gobierno Nacional, Gobiernos Provinciales y Municipales Organismos de planificación Sistema educativo. Organismos geocientíficos extranjeros. Organismos internacionales. Ciudadanía en general.

Figura Nº 3. Fragmento Del Mapa De Producción Externa Del Segemar. Fuente: Tercera Carta Compromiso con el Ciudadano del SEGEMAR (2008). Programa CCC. Proyecto de Modernización del Estado. Jefatura de Gabinete y Gestión Pública

En el ejemplo, el Macroproceso “producción de información geológica y temática del territorio nacional a distintas escalas” no proporciona ninguna idea acerca de la naturaleza de esos procesos de producción de información, como tampoco da cuenta del tipo y el estado de actualización de los instrumentos, del perfil de los profesionales intervinientes, del rigor en el registro de los datos, etc.

Repensando a propósito de estas descripciones generales la cuestión de los múltiples destinatarios que se mencionaron en el apartado anterior, y dada la naturaleza científico-tecnológica de los procesos y productos del SEGEMAR puede ponerse en cuestión el supuesto de la baja relevancia que tiene para los destinatarios el conocimiento de los modos con los que se produce conocimiento.

Hoy un amplio espectro de la epistemología de la ciencia acuerda en que “un objeto de conocimiento –una célula, un electrón o un sismo- emerge como tal en el cruce entre lo que podría denominarse *lo real* –aquello que existe independientemente de todo sujeto- y los conceptos, los métodos, los instrumentos – los códigos- con los que los científicos ordenan, hacen comprensible y significativo un aspecto de lo real” (Vieytes, 2004:160). *Un objeto de conocimiento es lo que se encuentra luego de recorrer el camino que propone cierto método.* Visto así, objeto y método son inseparables. En tal sentido cabe preguntarse: ¿puede un científico, como destinatario de los servicios del SEGEMAR, valorar un objeto científico o tecnológico ignorando el camino que permitió llegar a él?, ¿Es relevante para este destinatario un producto cuya génesis ignora?

Establecer el grado de precisión que debe tener la descripción de procesos para

destinatarios especializados no es sin embargo sencillo. Un repaso de la cantidad de procedimientos implicados en el caso del producto *Cartas Geológicas* que hemos tomado para ilustrar la implementación del SEGEMAR puede dar una idea de la dificultad. Según Candiani (2007) un listado de los procesos de elaboración de una Carta Geológica supone por lo menos las siguientes tareas:

1) Trabajo de campo

- Ubicación de los afloramientos o puntos de observación mediante navegadores GPS
- Identificación de las rocas y observación de su composición mineral, granulometría y textura
- Realización de mediciones estructurales
- Mediciones in situ de las propiedades de las rocas, como susceptibilidad magnética, radiometría y centellometría
- Observación de la yacencia, para establecer la edad relativa de las rocas
- Descripción de composiciones, estructuras, texturas y yacencias de las unidades geológicas y realización de un registro fotográfico de las observaciones
- Extracción de muestras de roca para la realización de estudios de cortes delgados, geoquímica, dataciones, las que formaran parte del repositorio de la hoja geológica
- Utilización de libretas de campo normalizadas para alimentar bases de datos y conectar los mismos con sistemas de información geográfica

2) Interpretación y elaboración de las cartas:

- Las cartas se realizan sobre la base de la topografía del IGM
- Imágenes satelitales, geofísicas y modelos de levación digital son utilizadas para la elaboración del mapa
- Mediante la interpretación de las imágenes junto con la información recolectada en el trabajo de campo se dibujan las unidades litológicas.

A su vez, cada uno de los procesos señalados supone muchos otros, y tal como menciona Estébanez (2004), los procesos que están presentes en cada una de estas instancias no ocurren necesariamente en etapas sucesivas. En la práctica se trata de procesos interactivos, que admiten un cierto solapamiento en el tiempo y cuyos protagonistas intervienen en diversos momentos y bajo diversos roles.

Lejos de la descripción general a la que se llegó en el mapa de producción del PCCC, otros sistemas de calidad, se ocuparían de identificar todos los sistemas y subsistemas, elaborar el camino crítico de cada proceso implicado y establecer un significativo número de indicadores de proceso y de resultado. La tarea sería extremadamente compleja e incluiría mediciones probablemente irrelevantes para los destinatarios de los servicios, aunque importantes al interior de los subsistemas. Vistos ambos enfoques, el primer desafío relativo a los macroprocesos y procesos que debería enfrentar el PCCC es cómo identificar y describir un número limitado de macroprocesos y procesos pero lo suficientemente cruciales, precisos y detallados como para resultar relevantes a los diferentes destinatarios especializados.

El segundo desafío relativo a los macroprocesos y procesos se presenta frente al ciudadano directo. Hay que tener en cuenta que, tal como señala Estébanez (2004),

existe una valorización creciente del análisis de los diversos aspectos que caracterizan a la dinámica de la ciencia y la tecnología en la sociedad contemporánea. A su vez, esta valorización se vincula a nuevas demandas sociales que se dirigen al sistema científico y los actores responsables de la innovación tecnológica, y que se refieren, entre otras cuestiones, a la calidad de vida de la población, al cuidado del medio ambiente y a la responsabilidad social en la asignación y usos de recursos públicos. Así, se advierte que cada vez más el ciudadano se interesa por los procesos. La pregunta a responder aquí es cuál es el foco temático de su interés, ya que se dirige a otros aspectos que los del destinatario especializado.

Construcción de metas o estándares de calidad

En la dinámica de construcción del Mapa de Producción –siempre según la lógica de la FIGURA 1- una vez identificados y descriptos los productos/servicios que se han de prestar, definidos los destinatarios e identificados los macroprocesos y los procesos, hubo que determinar correctamente qué se propone lograr la organización en relación con los factores o atributos de calidad que deben poseer esos servicios para satisfacer las expectativas de los destinatarios y, en consecuencia, priorizarlos en su diseño y formalizarlos luego como metas o estándares, haciéndolos conocer a los ciudadanos.

En la práctica de la implementación, el impacto de la diversidad y especificidad de los destinatarios funcionó primero, disparando la identificación de un gran número de atributos de distinta naturaleza, ya que no valora lo mismo una empresa multinacional, que un organismo de la Administración Pública Local, que un ciudadano directo. A partir de la diversificada y controversial gama de atributos relevados hubo que comenzar a reducirlos buscando algún grado de homogeneidad. El resultado de ese trabajo fue un tipo de estándar descriptivo, tributario en rigor de la renuncia de los equipos a discutir acerca de una tipología de estándares que sin atender *todas* las necesidades de *todos* los actores no quedara reducido a la sola enunciación de la existencia del producto, como puede observarse en la Figura 4, donde se muestra un ejemplo de estándar de calidad generado por el SEGEMAR para el producto *Cartas Geológicas*.

Cartas Geológicas a distintas escalas	
ESTANDAR	<p>El SEGEMAR IGRM realiza en forma bi-anual 16 cartas geológicas a diferentes escalas.</p> <p>Observación: en todos los casos los productos estarán disponibles para su consulta en versión preliminar no informatizada.</p>
COMO MEDIMOS	Indicador / Fórmula de cálculo
	Porcentaje de avance acumulado del plan bi-anual de producción de Cartas geológicas (Número de cartas realizadas acumuladas / Número total de cartas previstas de realizar en el periodo de medición) x 100
	Atributos de Calidad
	Capacidad de respuesta

Figura 4. Ejemplo de estándar de calidad del SEGEMAR. Fuente: Tercera Carta Compromiso con el Ciudadano (2008). Programa CCC. Proyecto de Modernización del Estado. Jefatura de Gabinete y Gestión Pública.

Según la Ley 24.224/1993 de Reordenamiento Minero, las cartas geológicas en la República Argentina incluyen:

- a) La carta geológica general de la República Argentina, la que será elaborada y publicada en escalas convenientes, acompañadas de un texto explicativo:
- b) Las cartas provinciales o regionales, en escalas adecuadas a las demandas que cubran necesidades de proyectos técnicos, científicos o económicos.
- c) La carta geológica de la República Argentina, que será elaborada y publicada en hojas, en escalas convenientes. Cada hoja geológica estará acompañada por un texto explicativo;
- d) Cartas de riesgos geológicos, las que serán elaboradas y publicadas en escalas adecuadas, para identificar áreas en las que los procesos endógenos, exógenos y antrópicos puedan producir catástrofes tales como erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones, deslizamientos, desertificación o contaminación; ambiental.
- f) Las cartas temáticas en escalas adecuadas, las que serán elaboradas y publicadas para cubrir las necesidades de proyectos específicos relacionados con distintos aspectos de la geología, tales como minería, geología urbana y ambiental, hidrogeología y edafología.

No pretende aquí decirse que el compromiso que asumió el organismo de realizar una cantidad determinada de Cartas Geológicas no represente un imperativo exigente para la organización, pero existe todavía una alternativa de mayor especificidad en la descripción del estándar que contemple, a partir de una mejor caracterización, el tipo de productos estandarizados. Ese, es un desafío pendiente en relación con los estándares.

Conclusión

El proceso de implementación de la Carta Compromiso en el SEGEMAR, uno de los primeros organismos científicos tecnológicos que implantó un sistema de calidad centrado en el ciudadano, constituye una experiencia que proporciona aprendizajes y plantea desafíos a los sistemas de mejora continua cuando éstos se llevan a cabo en el complejo entramado que configuran las organizaciones de producción de conocimiento.

De este modo, este proceso puso en evidencia las dificultades que se presentan y las reflexiones que éstas suscitan cuando se analiza la ejecución de un sistema de calidad en un organismo científico tecnológico y explicita los desafíos que todo ello plantea tanto para la eficacia del Programa como herramienta de aseguramiento de la calidad centrada en el interés del cliente/ciudadano, como para la implementación de otros sistemas de Calidad. En este sentido, el artículo se propuso analizar aquellos aspectos de la implementación de este Programa que responden a la necesidad de homogeneizar criterios que contemplen la diversidad y complejidad de los organismos públicos.

Los principales desafíos que surgieron en la etapa de construcción del Mapa de Producción Externa de la organización estuvieron vinculados con la dificultad de transferir y traducir los procesos y productos de este tipo de organismos a la sociedad en su conjunto. Estas dificultades se asocian entre otras causas a la complejidad de identificar múltiples productos y destinatarios, el problema de traducir el lenguaje científico a los distintos tipos de público usuario, la imposibilidad de describir los productos intangibles o virtuales, la necesidad de precisar la descripción de procesos para destinatarios heterogéneos, etc.

En relación a la cuestión de identificación y descripción de los procesos, otros sistemas de calidad –centrados en procesos– se ocuparían de identificar todos los sistemas y subsistemas, así como de elaborar el camino crítico de cada uno y establecer sus respectivos indicadores. La tarea sería extremadamente compleja e incluiría mediciones probablemente irrelevantes para los destinatarios de los servicios, aunque importantes al interior de los subsistemas. Vistos ambos enfoques, el primer desafío relativo a los macroprocesos y procesos que debería enfrentar el PCCC es cómo identificar y describir un número limitado de macroprocesos y procesos, pero lo suficientemente cruciales, precisos y detallados como para resultar relevantes a los diferentes destinatarios especializados. El segundo desafío relativo a los macroprocesos y procesos se presenta frente al ciudadano directo. Es necesario tener en cuenta que existe una valorización creciente del análisis de los diversos aspectos que caracterizan a la dinámica de la ciencia y la tecnología en la sociedad contemporánea vinculada a nuevas demandas sociales que se dirigen al sistema científico y a los actores responsables de la innovación tecnológica. Son preocupaciones dirigidas a mejorar la calidad de vida de la población, al cuidado del medio ambiente, y a la responsabilidad social en la asignación y usos de recursos públicos. Así, se hace evidente que cada vez más el ciudadano directo se interesa también por los procesos, y en tal sentido el desafío aquí es determinar cuál es el foco temático de su interés ya que su percepción de los procesos está guiada por aspectos diferentes a los del destinatario especializado.

Por último, el resultado concreto de la construcción de Metas o Estándares de Calidad fue

un tipo de estándar descriptivo, tributario en rigor de las discusiones no abordadas en torno a las tareas de definición de productos, de procesos y de destinatarios. El desafío pendiente en este punto es la construcción de una tipología de estándares que sin atender *todas* las necesidades de *todos* los actores no quede reducido a la sola enunciación de la existencia del producto sino que contemplara una mayor especificidad a partir de una más comprensiva caracterización de todos los elementos del Mapa de Producción. Desde la perspectiva, ello redundará tanto en la eficacia del PCCC como herramienta de aseguramiento de la calidad centrada en el interés del cliente/ciudadano, como en la implementación de otros Sistemas de Calidad en organizaciones de producción científica y tecnológica.

La importancia de tomar en cuenta estos desafíos radica en que los sistemas de calidad, además de constituirse en herramientas destinadas a mejorar la prestación de los servicios, deben ser claros, comprensibles y accesibles para todos sus destinatarios. Por otra parte, deben constituirse en instrumentos útiles y confiables. En gran medida esta utilidad y confiabilidad de la herramienta también incluye la necesidad de identificar y describir en forma clara, sencilla y exhaustiva los procesos, productos y destinatarios de la organización, es decir, expresar bien qué, cómo y para quién funciona un organismo estatal.

Es por ello que, a la hora de implementar los distintos sistemas de gestión de la calidad, la fisonomía propia de los organismos públicos constituye uno de los planos sobre el que hay que poner mayor énfasis. Se debe utilizar un enfoque flexible que se anticipe y adapte a las necesidades de cada organismo., respondiendo a los requerimientos de todas las partes interesadas. Este es un factor que no suele ser tenido en cuenta en los procesos de cambio, generando de esta forma un clima hostil para la implementación de un modelo de calidad.

Referencias

ALBORNOZ, M. (2005). Política científica y tecnológica en Argentina. En: OEI-CTS, Globalización, Ciencia y Tecnología. Temas de Iberoamérica, págs 81-82. Madrid.

CANDIANI, J. C. (2007). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Cartografía Geológica Sistemática de la Región Centro. Ejemplos Prácticos de su utilidad y realización. EXPOSEGEMAR 2007. Argentina.

ESTÉBANEZ, M. E. (2002). Impacto social de la ciencia y la tecnología: estrategias para su análisis. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología – Iberoamericana e Interamericana- (RICYT).

ESTEBANEZ, M. E. [en línea]. Conocimiento científico y políticas públicas: un análisis de la utilidad social de las investigaciones científicas en el campo social. Vol.13, no.1 p.7-37. Disponible en:
<http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131500062004003000001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1315-0006. [Fecha de acceso: 9 de marzo de 2009].

ESTÉBANEZ, M. E. Y KORSUNSKY, L. (2004). Medición de actividades de vinculación y transferencia de conocimientos científicos y tecnológicos. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología – Iberoamericana e Interamericana- (RICYT).

HALLIBURTON, E. (2005). Programa Carta Compromiso con el Ciudadano: Marco Conceptual. Subsecretaría de la Gestión Pública.

HALLIBURTON, E; NAKANO KOGA, S; ALFARO, M; Y FISZELEW, R. (2007). Guía para la elaboración de la Carta Compromiso con el Ciudadano. Subsecretaría de la Gestión Pública y Proyecto de Modernización del Estado BIRF-4423 AR.

TERCERA CARTA COMPROMISO DEL SEGEMAR (2008). Programa Carta Compromiso con el Ciudadano. Secretaría de Gabinete y Gestión Pública.

VIEYTES, R. (2004). Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad. Epistemología y técnicas. Buenos Aires: De las Ciencias.

AUTOXIDACIÓN DE ACEITES VEGETALES COMERCIALES.

María Mercedes Pereyra Boué, Damián Costamagna, Pablo Rodríguez, Cristina Speltini, Gabriela Coppo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Avda Mitre 750 (1870)
Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina
cspeltini@fra.utn.edu.ar

Recibido el 3 de junio de 2009; aceptado el 22 de julio de 2009

Resumen

Las grasas y los aceites sufren una transformación química, conocida comúnmente como rancidez, que además de reducir su valor nutritivo, produce componentes que le dan sabor y olor desagradable, deteriorando sus características organolépticas.

El presente artículo muestra un estudio comparativo de la oxidación primaria de cinco aceites vegetales comestibles comerciales que se encuentran en el mercado. Se analizó la oxidación de muestras de aceite de oliva extra virgen, maíz, soja, uva y girasol, a través del cambio del índice de peróxido a lo largo del tiempo. Las muestras de aceite fueron sometidas a calentamiento estático, en un baño termostatzado a 60 °C y protegido de la radiación UV. Los ensayos mostraron diferentes períodos de inducción, tiempos de oxidación y velocidades características.

Palabras clave: Aceites comestibles – Oxidación – Índice de peróxido

Abstract

Edible fats and oils undergo a chemical transformation known as rancidity. These chemical reactions generate components which give oils and fats an unpleasant taste and odor, deteriorating their characteristics besides reducing their nutritive value.

The purpose of the present article was a comparative study of the self-oxidation of five commercial edible vegetable oils available on the market. The oxidation characteristics of extra virgin olive oil, corn oil, soya oil, grape oil and sunflower oil were analyzed using the peroxide index technique through time. The oil samples were thermostatically heated using a thermostatic bath at 60 °C. The tests showed different periods of induction, oxidation levels and characteristic rates.

Key words: *Edible oils – Oxidation – Peroxide index.*

Introducción

En el marco del proyecto de investigación homologado “Antioxidantes naturales: en aceites comestibles y sus emulsiones”, que desarrollan conjuntamente las Regionales Buenos Aires y Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional, se ha realizado un estudio para caracterizar la autooxidación de diversos aceites vegetales comestibles. Estas determinaciones constituyen la etapa preliminar de una futura indagación sobre la capacidad antioxidante de diferentes extractos naturales que serán adicionados a los aceites estudiados.

El artículo 520 del Código Alimentario Argentino considera aceites comestibles a “los admitidos como aptos para la alimentación por el presente y los que en el futuro sean aceptados como tales por la autoridad sanitaria nacional” (ANMAT, 2009), destacando que se obtienen a partir de semillas o frutos oleaginosos y que poseen aspecto límpido a 25 °C y olor agradable.

En estado puro, las grasas y aceites están constituidos exclusivamente por triacilglicéridos, que son ésteres de ácidos grasos con glicerol, motivo por el cual estos ácidos se hallan en un alto porcentaje en la composición de los aceites.

Las diferencias de estabilidad a la oxidación, de plasticidad, de estado físico, de temperatura de solidificación y de fusión de los aceites, se deben fundamentalmente a sus ácidos grasos constituyentes.

La composición de ácidos grasos de algunos de los aceites más frecuentemente comercializados se resume en la tabla 1 (Badui Dergal, 2006).

	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Canola	6	2	57	20	9
Girasol	7	5	22	61	-
Maíz	6	2	35	52	-
Maní	11	3	52	30	-
Oliva extra virgen	12	3	75	7	-
Soja	10	2	19	62	3
Uva	7	3	16	73	-

Tabla 1. Composición porcentual de ácidos grasos en aceites comestibles

Las grasas y los aceites pueden sufrir transformaciones químicas que reducen el valor nutritivo del alimento, produciendo compuestos volátiles que le imparten olores y sabores desagradables. Este fenómeno se debe a que el enlace éster de los acilglicéridos es susceptible a la hidrólisis química y enzimática, y que los ácidos grasos insaturados son sensibles a las reacciones de oxidación.

El término rancidez es empleado para describir los diferentes mecanismos a través de los cuales se alteran los lípidos, pudiéndose identificar dos tipos: lipólisis o rancidez hidrolítica y autooxidación o rancidez oxidativa. La primera se debe básicamente a la acción de las lipasas que liberan ácidos grasos de los triacilglicéridos, mientras que la segunda

se refiere a la acción del oxígeno y de las lipoxigenasas sobre las insaturaciones de los ácidos grasos. Existe una tercera forma de deterioro que se produce por un fenómeno llamado reversión, cuyo mecanismo es poco conocido y tiene menor importancia que los dos procesos de oxidación anteriores.. Esta última modalidad se presenta en aceites refinados, que contienen ácido linolénico, produciendo olores indeseables cuando se encuentran almacenados.

Tal como fue mencionado, la autooxidación es una de las transformaciones más habituales en los alimentos que contienen sustancias insaturadas; consiste esencialmente en la oxidación de los ácidos grasos con dobles ligaduras. Recibe el nombre de autooxidación porque es un mecanismo que genera compuestos que a su vez mantienen y aceleran la reacción. Entre los productos sintetizados se encuentran algunos de peso molecular bajo, que le confieren el olor característico a las sustancias oxidadas, y otros cuya toxicidad es cuestionada por diversos autores (Pezzuto y Park, 2002; Siddhuraju y Becker, 2003).

La autooxidación se favorece a medida que se incrementa la concentración de ácidos grasos insaturados.

Entre los factores que inciden en la autooxidación se encuentran:

- La temperatura cuando se superan los 60 °C. La velocidad de autooxidación se duplica por cada 15 °C de aumento. Se debe aclarar que la refrigeración y aun la congelación no necesariamente inhiben la autooxidación, ya que la presencia de catalizadores y la disponibilidad de los reactivos pueden provocar que se lleve a cabo, incluso en estas condiciones.
- El cobre y el hierro promueven el inicio de la autooxidación aun cuando se encuentren en concentraciones menores que 1 ppm, por lo que es muy importante evitar todo contacto con recipientes o equipo elaborado con estos metales. El cobre tiene más especificidad para catalizar la oxidación de las grasas lácteas, mientras que el segundo favorece la oxidación de los aceites vegetales. Los ácidos grasos libres solubilizan estos iones y facilitan su acción catalizadora pues, provocan un mayor contacto con el lípido.
- La energía radiante de longitud de onda en el ultravioleta es un importante agente que favorece el mecanismo de autooxidación.
- La actividad acuosa desempeña un papel importante en la velocidad de la autooxidación. Se considera que con valores de actividad acuosa cercanos a 0,4 se forma una capa monomolecular que actúa como filtro y no deja pasar oxígeno hacia las partes internas donde están los lípidos; si la actividad acuosa es menor, se pierde dicha capa protectora y la oxidación se acelera; cuando la actividad acuosa se encuentra entre 0,4 y 0,8 se favorece la reacción debido a que se incrementa la movilidad de los reactivos, se solubilizan los metales catalizadores y se exponen nuevas superficies del producto por el aumento de volumen causado por la hidratación. A valores mayores de 0,8, la oxidación se inhibe por efecto de la hidratación y dilución de los metales o bien, por la precipitación como hidróxidos.

Se destaca que son diversos los factores que pueden aceleran esta reacción, pudiendo actuar en forma independiente o combinándose en un efecto más intenso. El mecanismo se ocasiona por la producción de radicales libres, pudiéndose identificar tres etapas: iniciación, propagación y terminación.

Iniciación	RH	$\rightarrow R^* + H^*$	Radicales libres
Propagación	$R + O_2$	$\rightarrow ROO^*$	Radical hidroperóxido
	$ROO^* + RH$	$\rightarrow R^* + ROOH$	Hidroperóxido
Terminación	$R^* + R^*$	$\rightarrow RR$	Compuestos estables
	$R^* + ROO^*$	$\rightarrow ROOR$	
	$ROO^* + ROO^*$	$\rightarrow ROOR + O_2$	
	$RO^* + R^*$	$\rightarrow ROR$	
	$2 RO^* + 2 ROO^*$	$\rightarrow 2 ROOR + O_2$	

Durante la etapa de propagación de la oxidación se generan hidroperóxidos, que por ser muy reactivos, propician otras transformaciones, como su ruptura y la consecuente producción de nuevos radicales, que alimentan la reacción. Estos mecanismos forman compuestos como hexanal, heptanal, octanal, nonanal, undecanal, 2-nonenal, 2-decenal, 2-undecenal, 3-hexenal, 4-decenal, 2,3-nonadienal, 2,4- decadienal, 1-buten-3-ona, y muchos otros que son los responsables de los olores típicos de las grasas que han sufrido la reacción de autoxidación.

Además de la autoxidación, los ácidos grasos, saturados o insaturados, pueden sufrir reacciones de descomposición al ser sometidos a temperaturas elevadas, en presencia o en ausencia de oxígeno.

La degradación de los ácidos saturados con oxígeno implica la formación de monohidroxiperóxidos, cuya ruptura produce sustancias de peso molecular bajo, responsables de ciertos olores característicos; algunas de estas son semejantes a las que se identifican en las reacciones de oxidación.

Desarrollo

Para realizar el estudio se seleccionaron cinco aceites vegetales comerciales, provenientes de una única especie vegetal: maíz, girasol, oliva extra virgen, soja y uva, con el objetivo de comparar los cambios que se producen en sus niveles de autoxidación a lo largo del tiempo.

El ensayo se llevó a cabo por un término de 80 días consecutivos, durante el cual los aceites fueron almacenados en vasos de precipitado de 500 ml, cubiertos por vidrios reloj para evitar la contaminación externa.

Se controlaron en particular dos de los factores que inciden en la oxidación de los lípidos: temperatura e incidencia de UV. Para ello se almacenaron los recipientes en un baño termostático mantenido a 60 °C, de manera intermitente, en un sector del laboratorio protegido de la acción de luz natural. Se eligió este valor de temperatura para lograr velocidades de autoxidación moderadas, tal como fue mencionado en párrafos anteriores.

Técnica empleada

La técnica empleada en esta investigación ha sido la del índice de peróxido (IP). Este método determina todas las sustancias que bajo las condiciones del test, oxidan al ioduro de potasio, y las expresa en términos de miliequivalentes de peróxido por 1000 g de muestra.

Se asume que todas las sustancias son peróxidos u otros productos similares de la oxidación de la grasa. Es aplicable a todas las grasas y aceites típicos, incluidas las margarinas.

Son métodos equivalentes para la determinación del IP los recomendados por:

- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C. 965.33 1990)
- American Oil Chemists' Society (A.O.C.S Cd 8–53 1963)

Esta técnica es utilizada para determinar el estado de conservación del alimento a través de la determinación de peróxidos como producto resultante primario de la oxidación del aceite, los cuales destruyen vitaminas liposolubles A, D, E, caroteno y parte de los ácidos grasos esenciales y paraliza la biosíntesis de vitamina K. El índice de peróxido indica en que grado se ha oxidado el aceite analizado.

El método es altamente empírico y cualquier cambio en el procedimiento puede provocar alteraciones en los resultados, motivo por el cual se considera interesante realizar una descripción detallada del empleado en estos ensayos.

La técnica consiste en liberar el yodo proveniente de la mezcla de la muestra con ácido acético y cloroformo y titularlo, con una solución estandarizada de tiosulfato sódico y almidón como indicador.

Los reactivos utilizados son:

- Disolvente: cloroformo-ácido acético: mezclar tres volúmenes de ácido acético y dos de cloroformo.
- Solución de ioduro de potasio (KI) saturada. Controlar añadiendo 2 gotas de una solución al 1% de almidón soluble. Descartar si adquiere color azul y necesita más de una gota de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N para decolorarla.
- Soluciones patrón de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N y 0,01N. Preparar esta última inmediatamente antes de usarla, por dilución de la primera con agua destilada recientemente hervida. Valorar ambas soluciones diariamente con KIO_3 , previo al ensayo.

El procedimiento empleado se detalla a continuación:

Pesar 5,00 +/- 0,05 g de aceite en un erlenmeyer de 250ml. Agregar 30 ml del disolvente cloroformo – ácido acético, agitando hasta disolución total de la muestra. Agregar 0,5 ml de solución saturada de KI, con pipeta de doble aforo o automática. Esperar exactamente 1 minuto, con ocasional agitación, y agregar luego 30 ml de agua destilada.

Titular el yodo liberado con solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N, agregando la solución gradualmente y con agitación constante y vigorosa. Continuar la titulación hasta que el color amarillo haya casi desaparecido. Añadir aproximadamente 0,5 ml de solución indicadora de almidón al 1% y continuar la titulación agitando vigorosamente el erlenmeyer, para favorecer la liberación de todo el I_2 de la capa clorofórmica. Se procede a agregar la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gota a gota hasta la desaparición del color azul.

Si el gasto de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N es muy pequeño (<0,5ml), repetir la determinación y

titular con solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01N.

Se debe realizar paralelamente una determinación en blanco solamente con los reactivos. El título del blanco debe ser inferior a 0,1 ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N.

El índice de peróxidos se expresa como miliequivalentes de peróxido / kg de muestra, según la expresión:

$$\text{Indice de peróxido} = \frac{(M-B) \times N \times f \times 1000}{\text{Masa muestra (g)}}$$

(meq de peróxido/1000g de muestra)

M: ml gastados en la titulación de la muestra

B: ml gastados en la titulación del blanco

N: normalidad de la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

f¹³: factor de la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Cabe destacar que:

- La determinación del IP se realizó con cada muestra de aceite el número de veces necesario, de manera de obtener un mismo valor compatible con las incertezas debidas a las mediciones y a la técnica empleada.
- Las muestras de aceites se mantuvieron en un baño termostático, sin agitación. El baño se mantuvo a 60 °C de manera intermitente, en ciclos de 2,5 horas diarias, operados manualmente. El tiempo total de calefacción fue de 200 horas.

Resultados

La variación de los Índices de peróxido (IP) en función del tiempo de almacenamiento de los aceites fueron graficados, dando lugar a curvas de oxidación para cada uno de los aceites ensayados. Estas curvas se muestran en las figuras 1 a 5, en las que puede observarse los intervalos de incerteza de cada determinación.

Se emplea la siguiente simbología: “■” máximo valor considerando las incertidumbres; “◆” valor medio de intervalo; “Δ” mínimo valor considerando las incertidumbres.

13 - Las soluciones estándares se preparan lo más cercanamente posible al valor de concentración buscado. Para determinar su valor exacto se utiliza un factor de corrección que vincula la concentración de la solución preparada con la calculada teóricamente.

Aceite Oliva

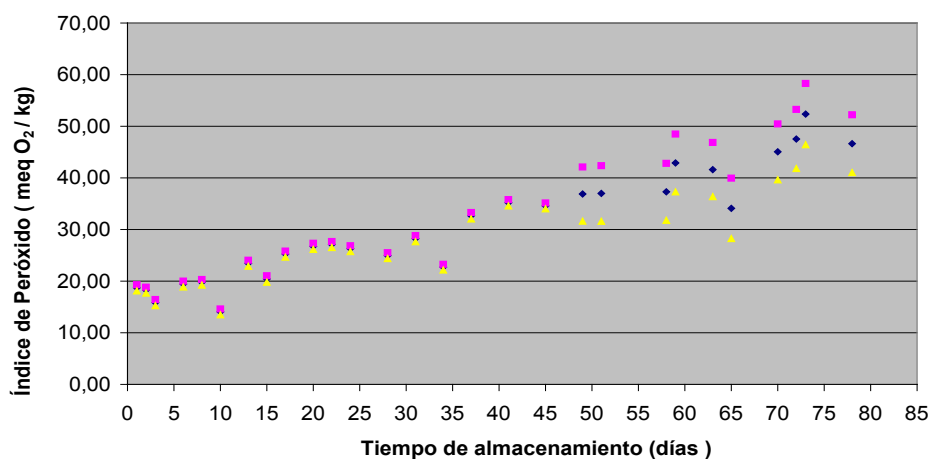


Figura 1. Índice de peróxido de una muestra de aceite de oliva extra virgen en función del tiempo.

Aceite Girasol

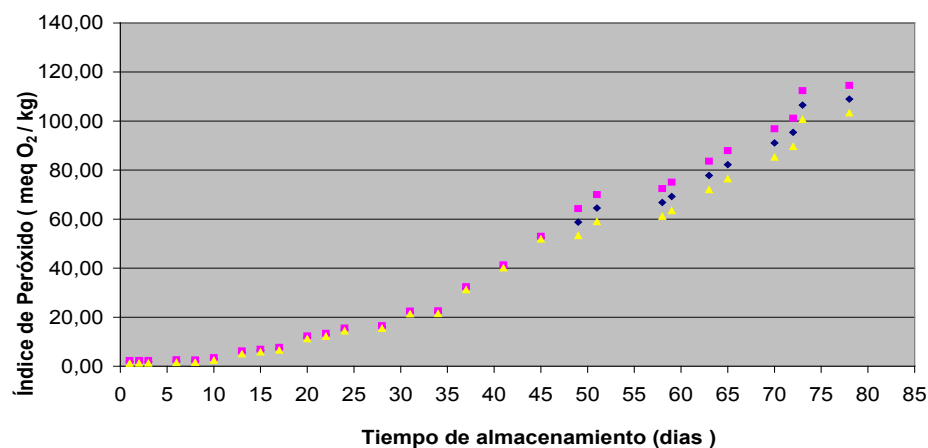


Figura 2. Índice de peróxido de una muestra de aceite de girasol en función del tiempo.

Aceite Maíz

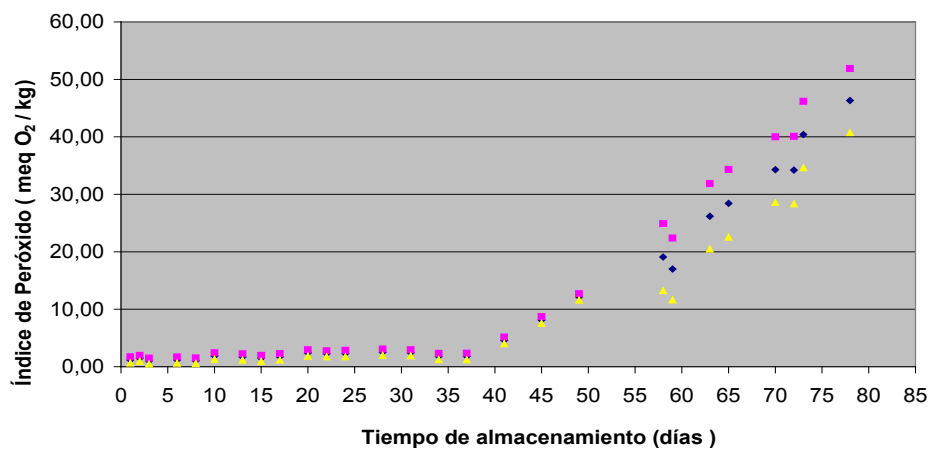


Figura 3. Índice de peróxido de una muestra de aceite de maíz en función del tiempo

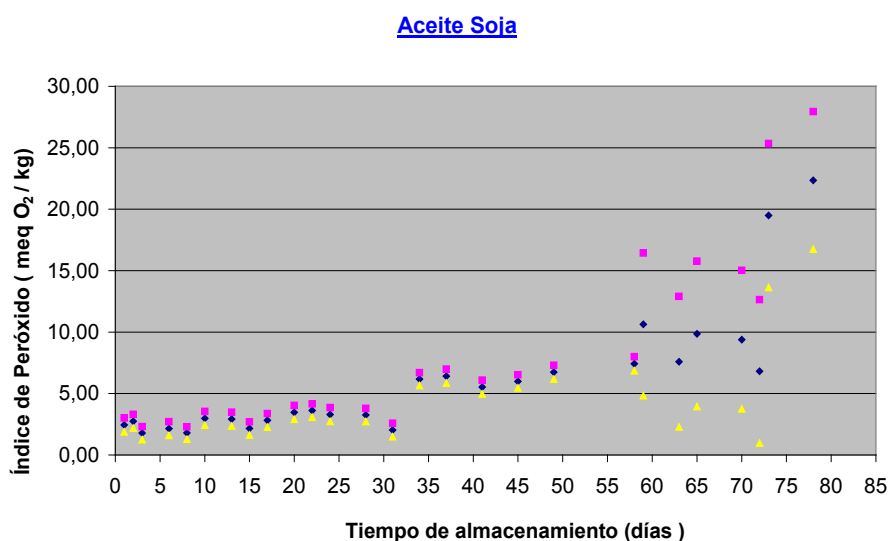


Figura 4. Índice de peróxido de una muestra de aceite de soja en función del tiempo

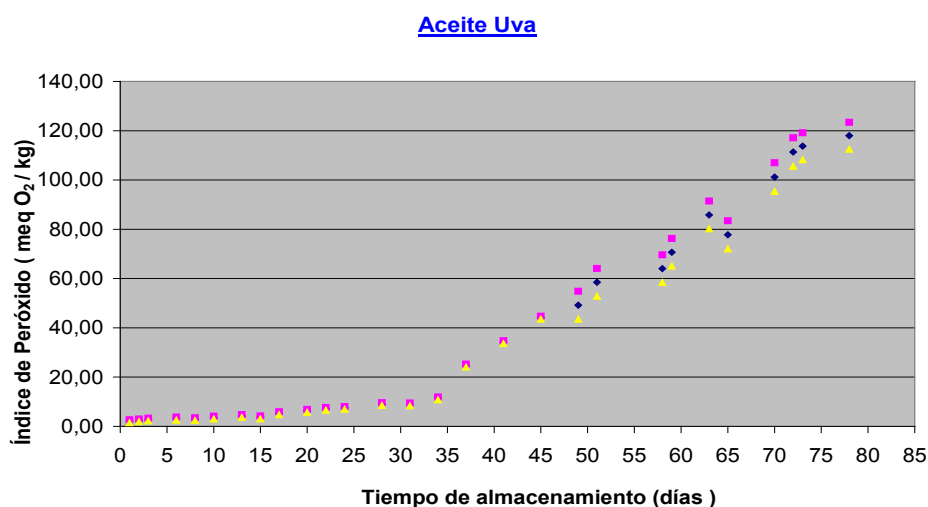


Figura 5. Índice de peróxido de una muestra de aceite de uva en función del tiempo

Discusión

Durante el transcurso del estudio se observó que los aceites se tornaban turbios, pudiéndose adjudicar este hecho a la reducción de betacaroteno, presente en grasas y aceites comestibles.

Por otra parte, la extracción de la alícuota para realizar la determinación, se dificultó a medida que transcurrió la investigación, debido al aumento de la viscosidad de las muestras en estudio. Este efecto podría deberse a la formación de polímeros, generados por el efecto de la oxidación.

De los gráficos anteriores se pudo identificar la estabilidad de los aceites, es decir, el

tiempo probable que el material permanecerá exento de rancidez. El período de inducción representa el tiempo transcurrido desde el inicio de los ensayos hasta que se origina la producción acelerada de peróxidos en el aceite. Los períodos de inducción (lag period) de cada uno de los aceites estudiados, se indican en la tabla 2.

Aceite Vegetal	Período de Inducción
Oliva	10 días
Girasol	10 días
Soja	34 días
Uva	34 días
Maíz	37 días

Tabla 2. Periodos de Inducción

En la tabla 3 se resumen algunos parámetros característicos surgidos de la investigación como así también de la bibliografía consultada. En la segunda columna se consignan los IP determinados al iniciar el estudio, es decir al abrir los envases comerciales; mientras que en la tercera se indican los valores máximos de IP alcanzados durante el período que duró el ensayo. En cuarto lugar se registraron los porcentajes de ácido linoléico presente en los aceites analizados, según informa la bibliografía consultada (Badui Dergal, 2006).

Se definió una velocidad de deterioro por oxidación utilizando la pendiente de la recta tangente a la curva de IP vs. tiempo. Este parámetro se calculó en dos oportunidades, al concluir el período de inducción (VD_0) y a los 10 días posteriores a la finalización del periodo de inducción (VD_{10}) correspondiente a cada uno de los aceites analizados.

	IP inicial	IP máx.	% Linoléico	Velocidad de deterioro	
				VD_0	VD_{10}
Girasol	2	120	61	0,89	1,88
Maíz	1,2	50	52	0,80	0,89
Oliva extra virgen	18,7	60	7	0,70	0,70
Soja	2,4	30	62	0,48	0,06
Uva	2,1	120	73	0,81	2,15

Tabla 3. Comparación de parámetros característicos de los aceites

Los aceites con elevado porcentaje de ácido linoleico deberían poseer índices de peróxidos altos al finalizar el ensayo, indicando una gran susceptibilidad a las reacciones de oxidación. Un análisis de los resultados obtenidos muestra que esto sucedió en el caso del aceite de girasol y el de uva. Este comportamiento debería haber sido análogo en el aceite de soja, pero esto no ocurrió, alcanzando el mínimo valor de IP, o sea el resultado opuesto. Un motivo por el cual se podría justificar este comportamiento no esperado, es la presencia o presencia en mayor concentración, de un antioxidante sintético.

Cabe destacar que la etiqueta del aceite de soja utilizado, es la única que aclara el agregado de TBHQ (terbutilhidroquinona) y de ácido cítrico, sin detallar cantidades. Según lo regulado por el Código Alimentario Argentino, en su artículo 523 bis, la máxima concentración permitida de TBHQ es de 200 ppm y de ácido cítrico es de 100 ppm.

Se corroboró que los aceites más susceptibles a la oxidación se caracterizan por

tener velocidades de oxidación relativa elevadas, excluyendo al aceite de soja del análisis por las razones anteriormente expuestas.

El aceite de oliva extra virgen muestra un deterioro a la oxidación que varía poco en el tiempo. Dicha estabilidad puede ser atribuida a la presencia de derivados fenólicos, tales como isoflavonas, genisteína y ácidos cafeico, clorogénico, ferúlico y cumárico, que pueden encontrarse en una concentración de 80 ppm (Badui Dergal, 2006).

Según el Código Alimentario Argentino, los IP iniciales de los aceites comerciales debe ser menor que 10 meq O_2 /kg; exceptuando al aceite de oliva extra virgen; cuyo valor debe ser inferior a 20 meq O_2 /kg (artículo 535 del CAA /Res Conj. SPRyRS y SAGyPA N° 40/2006 y N°640/2006). Estos valores se verificaron en la práctica en todos los casos analizados (ver tabla 3).

Conclusiones

Los aceites crudos de soja, oliva y maíz presentan la peculiaridad de poseer sustancias, que en forma natural actúan como antioxidantes, tales como los tocotrienoles o los tocoferoles, en proporciones de 1.150 ppm, 600 ppm y 100 ppm, respectivamente. Sin embargo estas sustancias se hallan en concentraciones muy bajas y su efectividad es muy reducida, por lo que es preciso recurrir a sustancias sintéticas como el hidroxianisol butilado (BHA), el butilhidroxitolueno (BHA), la terbutilhidroquinona (TBHQ) o los galatos, cuya dosificación es regulada por el Código Alimentario Argentino.

Los resultados obtenidos a través de este estudio preliminar brindan elementos para avanzar en la investigación sobre las características de los aceites comestibles comerciales, que serán empleados para analizar las propiedades antioxidantes de diversos extractos naturales, como por ejemplo extractos etanólicos de ajo, porotos de soja y de romero y coriandro. Se ha demostrado que estos extractos poseen una capacidad inhibitoria aceptable sobre la oxidación de los lípidos, pero faltan estudios sobre su potencial toxicidad y la posibilidad de impartir un aroma preponderante al aceite elegido para preservar (Janczuk et al., 2006).

Quedan como posibles estudios complementarios intensificar la caracterización de los aceites comestibles, provenientes de las diferentes etapas de producción, de manera de contar con materia prima que no contenga antioxidantes sintéticos.

Referencias

ANMAT (2009). *Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica*, [en línea]. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/codigoa/capitulo_VII.pdf [Fecha de acceso: 15 de abril de 2009].

Badui Dergal, Salvador (2006). *“Química de los Alimentos”*. Addison Wesley, México.

Janczuk, L. Gutiérrez, M.C. Della Rocca, P. (2006) “Estudio del efecto antioxidante de extractos vegetales”. *Proyecciones* 4(2), 39 -47.

Pezzuto, J. M., Park, E. J. (2002). *“Autoxidation and antioxidants”* en Encyclopedia of Pharmaceuticals Technology (97-113) New York: Swarbrick, J. Boylan, J.C.

Siddhuraju, P.; Becker, K. (2003) “Antioxidants properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three diferente agroclimatic origins of Drum stick tree”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 214-2155.

GENERACIÓN DE DIAGRAMAS DE PROPIEDADES DEL AGUA LÍQUIDA Y EL VAPOR DE AGUA.

Juan Carlos Petras

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Departamento de Mecánica.

San Vicente 206 (B1874ETF) Villa Dominico, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

jpetras@fra.utn.edu.ar

Recibido el 28 de mayo de 2009; aceptado, en versión revisada, el 31 de julio de 2009.

Resumen

En el diseño, la operación, el mantenimiento y la reingeniería de plantas o procesos industriales donde interviene el vapor de agua se utilizan los diagramas de las propiedades del agua. Se describe en el presente trabajo la metodología empleada para su obtención.

Palabras clave: *diagramas del agua, vapor*

Abstract

The diagrams of the properties of the water are used for the design, operation, maintenance, retrofit of plants or industrial processes in which the water steam is involved. The methodology used for the elaboration of such diagrams is described in the present work.

Key-words: *water diagrams, steam*

Introducción

Los diagramas de agua y vapor son de suma utilidad para resolver casos prácticos de procesos tales como ciclos termodinámicos, por ejemplo el ciclo Rankine, y transformaciones termodinámicas (por ejemplo, expansión isentálpica en válvula, tanque flash). Actualmente no se dispone en Argentina de diagramas con alta resolución. Por tal razón se planteó, sobre la base de la formulación industrial 97 de la IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam, 1997) la elaboración de dos diagramas, Temperatura – Entropía y Entalpía – Entropía. El trabajo puede ser utilizado como fuente para desarrollar software de cálculo de las propiedades del agua.

El primer diagrama tiene un área gráfica de 900 x 800 mm, lo que da, para la entropía, una resolución de 0,001 kJ/ kg K por milímetro y para la temperatura un grado centígrado por milímetro. El segundo tiene un área gráfica de 750 x 800 mm, que representa una resolución para la entropía de 0,006 kJ/ kg K por milímetro y para la entalpía 3 kJ/ kg por milímetro.

Desarrollo

Básicamente, el desarrollo se dividió en dos partes. La primera consistió en la obtención de las curvas propiamente dichas y la segunda fue su rotulado, milimetrado de fondo, títulos y logos.

Plataforma de ecuaciones para las propiedades termodinámicas del agua

Tal como fue mencionado, se trabajó sobre la Formulación Industrial de la IAPWS 97 (IF97) para generar los gráficos de Temperatura-Entropía y Entalpía-Entropía. Básicamente, la IF97 define cinco regiones en las cuales se puede calcular las propiedades del agua líquida y el vapor de agua.

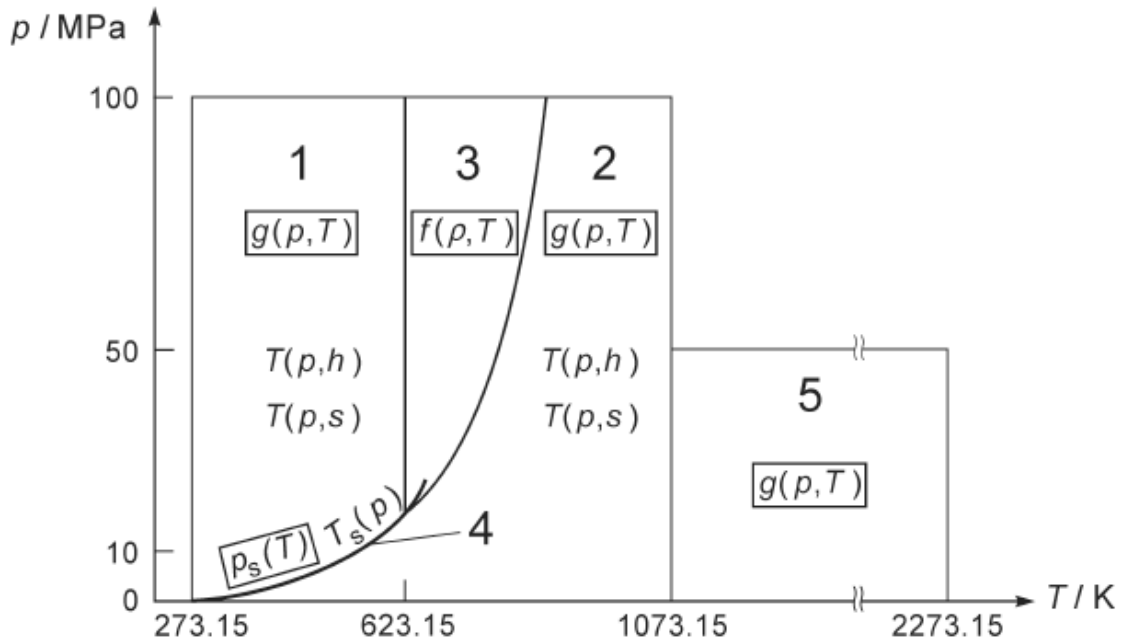


Fig.1. Regiones definidas por International Association for the Properties of Water and Steam (1997)

Como se puede apreciar en la Figura 1, la región 1 define las propiedades del agua en estado líquido; la región 2 contiene los estados de gas y vapor y la 3 el punto crítico del agua. La región 4 indica el cambio de estado de líquido a vapor (curva de presión de vapor saturado), mientras la región 5 es estado de vapor a alta temperatura y baja presión.

La región 4 provee la formulación de la presión de vapor de saturación en función de la temperatura y su homóloga temperatura de saturación en función de la presión. Las regiones 1, 2 y 5 están basadas en la energía libre de Gibbs (Callen, 1981) teniendo como parámetros fundamentales la presión y temperatura. La región 3 se basa en la energía libre de Helmholtz que tiene como parámetros la densidad y temperatura.

Las ecuaciones de la IF97 son las siguientes:

Región 1

$$\frac{g(p,T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{34} n_i (7,1 - \pi)^{J_i} (\tau - 1,222)^{J_i}$$

Región 2

$$\frac{g(p,T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau)$$

donde: $\gamma^0 = \ln \pi + \sum_{i=1}^9 n_i^0 \tau^{J_i^0}; \gamma^r = \sum_{i=1}^{43} n_i^r \pi^{I_i} (\tau - 0,5)^{J_i^r};$

Región 3

$$\frac{f(p, T)}{R T} = \phi(\delta, \tau) = n_1 \ln \delta + \sum_{i=2}^{40} n_i \delta^{I_i} \tau^{J_i}$$

Región 4

$$\beta^2 v^2 + n_1 \beta^2 v + n_2 \beta^2 v^2 + n_3 \beta v^2 + n_4 \beta v + n_5 \beta + n_6 \beta^2 + n_7 \beta + n_8 = 0$$

$$\text{donde: } \beta = (p_s / p^*)^{1/4}; v = \frac{T_s}{T^*} + \frac{n_9}{(T_s / T^*) - n_{10}}$$

Región 5

$$\frac{g(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau);$$

$$\text{donde: } \gamma^0 = \ln \pi + \sum_{i=1}^6 n_i^0 \tau^{J_i^0}; \gamma^r = \sum_{i=1}^6 n_i^r \pi^{I_i} \tau^{J_i};$$

Para todas las regiones, π , τ y δ son las presiones, las temperaturas (invertida) y las densidades reducidas.

Base de formato para el dibujo de los gráficos

Se eligió como software el Autocad, por ser uno de los más difundidos sistemas para dibujo técnico. Para el diagrama TS se empleó la escritura de archivos para procesamiento por lotes (extensión.scr) que permite ser importado y ejecutado automáticamente. Para el diagrama HS se eligió el formato DXF (Drawing Exchange Format), que es un formato público, propiedad de Autodesk¹⁴; una gran cantidad de software tiene compatibilidad con el mismo. Se utilizó el formato ASCII (formato de texto) por ser más práctica la escritura de los archivos en este formato (Autodesk®, 2000) Presenta como ventaja la posibilidad de definir nombres de capas (layers) para organizar mejor el dibujo del diagrama.

Desarrollo de los diagramas

Se utilizó como lenguaje de programación el Visual Basic, que es provisto en las planillas de cálculo de Excel. Básicamente esta elección fue tomada por un problema de costos de licencias.

14 - Puede consultarse en <http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/index.htm>, 2008

Diagramas Temperatura Entropía

Se utilizaron datos que se indican en la Tabla 1 para escalar todas las curvas, en los que X representa el eje de las entropías e Y el eje de las temperaturas.

	Pos. centro de coord.	Factor de Escala	Pos. centro De coord.	Máximo Valor	Unidad
X=	152 [mm]	100	0	9	Entropía [kJ/kg K]
Y=	21 [mm]	1	0	800	Temperatura [°C]

Tabla 1. Datos utilizados para escalar las curvas

Curvas de títulos

Se eligió el conjunto de valores que se indica en la Tabla 2.

X	Tmin	Tmax	ΔT		X	Tmin	Tmax	ΔT
	[°C]	[°C]	[°C]			[°C]	[°C]	[°C]
0	0	373,946	0,5		0,55	0	373,946	0,5
0,05	0	373,946	0,5		0,6	0	373,946	0,5
0,1	0	373,946	0,5		0,65	0	373,946	0,5
0,15	0	373,946	0,5		0,7	0	373,946	0,5
0,2	0	373,946	0,5		0,75	0	373,946	0,5
0,25	0	373,946	0,5		0,8	0	373,946	0,5
0,3	0	373,946	0,5		0,85	0	373,946	0,5
0,35	0	373,946	0,5		0,9	0	373,946	0,5
0,4	0	373,946	0,5		0,95	0	373,946	0,5
0,45	0	373,946	0,5		1	0	373,946	0,5
0,5	0	373,946	0,5					

Tabla 2. Conjunto de valores para las curvas de títulos

En cada curva identificada como X (valor del título) se utilizó la formulación de la región 4 para determinar la presión de saturación en función de la temperatura. La temperatura es el conjunto de valores entre la temperatura máxima y mínima (inclusive) tomadas a intervalo fijado como ΔT . Para cada uno de esos pares de valores (presión, temperatura) se calcularon los valores de la entropía, tanto en la región 2, vapor saturado, como en el líquido saturado, el cual se calcula con la formulación de la región 1, si su temperatura es igual ó menor que 350 °C (623,15 K); en caso contrario se calcula con la formulación de la región 3, iterando por aproximación entre volúmenes. Los volúmenes tomados son:

$$V_{\max} = 0,0089$$

$$V_{\min} = 4,99541238184204E-07 \times T^2 - 6,75089485252078E-04 \times T + 0,230780659571372$$

donde T es la temperatura en K. Fue necesario desarrollar este polinomio para garantizar la convergencia de la aproximación.

Con los datos así obtenidos de presión y entropía se procede a generar el archivo

DXF para la creación de las líneas de título. Nótese que todas curvas logradas para estos gráficos realmente son una sucesión de segmentos de rectas; por la escala elegida y la variación de temperatura se está haciendo referencia a segmentos cuya variación en altura es de 0,5 mm, por cuya razón es imperceptible para el ojo humano decidir si se trata de una recta ó una curva.

Curvas de presiones:

Para las curvas de presiones se seleccionó el conjunto de valores que se muestra en la Tabla 3.

P [MPa]	Tmin [°C]	Tmax [°C]	ΔT [°C]		P [MPa]	Tmin [°C]	Tmax [°C]	ΔT [°C]
0,001	6,969632413	800	0,5		2,0	212,3845353	800	0,5
0,002	17,49525668	800	0,5		2,5	223,9564875	800	0,5
0,003	24,07994125	800	0,5		3	233,858445	800	0,5
0,004	28,9615038	800	0,5		4	250,3575191	800	0,5
0,005	32,87548952	800	0,5		5	263,9428712	800	0,5
0,006	36,16025915	800	0,5		6	275,5864108	800	0,5
0,008	41,5100527	800	0,5		8	295,0091212	800	0,5
0,010	45,80754821	800	0,5		10	310,999488	800	0,5
0,015	53,97026692	800	0,5		12	324,6783043	800	0,5
0,020	60,05864266	800	0,5		14	336,6693686	800	0,5
0,025	64,96328265	800	0,5		16	330	800	0,5
0,03	69,09543192	800	0,5		18	330	800	0,5
0,04	75,85682151	800	0,5		20	330	800	0,5
0,05	81,316736	800	0,5		22	330	800	0,5
0,06	85,92577749	800	0,5		24	330	800	0,5
0,08	93,48535413	800	0,5		26	330	800	0,5
0,10	99,60591861	800	0,5		28	330	800	0,5
0,15	111,3500495	800	0,5		30	240	800	0,5
0,20	120,2115459	800	0,5		35	240	800	0,5
0,25	127,4136293	800	0,5		40	240	800	0,5
0,3	133,5253579	800	0,5		45	240	800	0,5
0,4	143,612533	800	0,5		50	100	800	0,5
0,5	151,8362439	800	0,5		60	240	800	0,5
0,6	158,832424	800	0,5		70	240	800	0,5
0,8	170,4135108	800	0,5		80	240	800	0,5
1,0	179,8856324	800	0,5		90	240	800	0,5
1,5	198,2952429	800	0,5		100	0	800	0,5

Tabla 3. Conjunto de valores para las curvas de presiones

En cada curva identificada como P se procedió a obtener la entropía para dicha presión y el conjunto de temperaturas entre Tmin y Tmax (inclusive) tomadas a intervalo fijado como ΔT , según la formulación correspondiente a cada región. Cuando ΔT provoca traspasar la región 4, se calculan los puntos de temperatura - entropía para los estados de líquido saturado a vapor saturado. Nótese que hasta la presión P= 14 MPa la temperatura inicial es la temperatura de saturación a esa presión.

Curvas de volúmenes específicos:

El conjunto de valores seleccionado se indica en la Tabla 4

V [m³/kg]	Tmin [°C]		V [m³/kg]	Tmin [°C]
100	0		0,15	20
80	0		0,1	20
60	0		0,08	20
50	0		0,06	160
40	0		0,05	160
30	0		0,04	160
20	0		0,03	160
15	0		0,02	160
10	0		0,015	160
8	0		0,01	160
6	0		0,008	160
5	0		0,006	160
4	0		0,005	160
3	0		0,004	160
2	0		0,003	160
1,5	0		0,0025	160
1	0		0,002	240
0,8	20		0,0018	240
0,6	20		0,0016	240
0,5	20		0,0014	240
0,4	20		0,0012	160
0,3	20		0,0011	160
0,2	20		0,0010001	160

Tabla 4. Conjunto de valores para las curvas de volúmenes específicos

En cada curva identificada como V se procedió a obtener la entropía para dicho volumen entre el conjunto de temperaturas Tmin y 800 °C, con saltos de 0,5 °C, de la siguiente manera:

Si el volumen específico es menor que el del punto crítico, se calcula primero por iteración múltiple la temperatura a la cual se tiene el volumen específico dado para una presión de 100 MPa (regiones 1 ó 3, según se encuentre la temperatura por debajo ó no de 350 °C). Luego se calcula por el mismo método de iteración la temperatura para el líquido saturado. Por aproximaciones sucesivas se calcula entre esos dos límites de temperatura la entropía que corresponde al volumen específico de consigna. Una vez llegada a la campana se calcula por aproximaciones sucesivas del título la entropía desde la temperatura calculada anteriormente hasta la temperatura mínima fijada en la tabla.

Si el volumen específico es mayor que el del punto crítico se calcula primeramente por iteración múltiple la temperatura a la que corresponde el volumen específico de consigna para el vapor saturado. Luego, por aproximaciones sucesivas, se calcula entre la temperatura mínima y la anteriormente calculada la entropía que corresponde al volumen específico de consigna, Luego se procede análogamente desde la temperatura anterior hasta los 800 °C.

Curvas de entalpías constantes:

La Tabla 5 muestra el conjunto de valores elegido:

h [KJ/kg]		h [KJ/kg]		h [KJ/kg]
4150		3150		1900
4100		3100		1800
4050		3050		1700
4000		3000		1600
3950		2950		1500
3900		2900		1400
3850		2850		1300
3800		2800		1200
3750		2750		1100
3700		2700		1000
3650		2650		900
3600		2600		800
3550		2550		700
3500		2500		600
3450		2400		500
3400		2300		400
3350		2200		300
3300		2100		200
3250		2000		100
3200				

Tabla 5. Conjunto de valores para las curvas de entalpías constantes

Para cada curva identificada como h se procedió a obtener la curva de entalpía de la siguiente manera: si la entalpía es menor que 3715,1889435374 KJ/kg, se calcula por iteración múltiple la temperatura a la cual se tiene la entalpía objetivo para una presión de 100 MPa. De no ser así se asume la temperatura máxima del grafico 800 °C. Luego, si la entalpía objetivo es mayor a la del punto crítico y menor que 3715,1889435374 KJ/kg se determina las dos temperaturas del vapor saturado que cumple con la entalpía objetivo. Si la entalpía es menor que la del punto crítico se determina a qué temperatura se cumple la entalpía objetivo. Con las temperaturas determinadas antedichas, se procede a barrer las temperaturas con saltos de 0,5 °C y variando la presión, se obtiene por aproximaciones sucesivas la presión para la entalpía objetivo. Las temperaturas sobre vapor saturado y líquido saturado sirven para determinar qué conjunto de ecuaciones se utiliza, según la región en que la temperatura se encuentra.

Diagramas Entalpía-Entropía:

Se utilizaron los datos que indica la Tabla 6 para escalar todas las curvas, donde X representa el eje de las entropías e Y el eje de las entalpías.

	Pos. centro de coord.	Factor de Escala	Pos. centro de coord.	Máximo Valor	Unidad
X=	152 [mm]	150	4	9	Entropía [kJ/kg K]
Y=	21[mm]	0,333333	1800	4200	Entalpía [kJ/kg]

Tabla 6. Datos empleados para escalar los Diagramas Entalpía-Entropía

Curvas de títulos

El conjunto de valores elegido para las curvas de títulos se muestra en la Tabla 7. Se procede de forma análoga a la descrita para el diagrama TS, pero obteniendo entalpía y entropía para su representación gráfica.

X	Tmin	Tmax	ΔT		X	Tmin	Tmax	ΔT
	[°C]	[°C]	[°C]			[°C]	[°C]	[°C]
0,00	364	373,946	0,5		0,70	18,5	373,946	0,5
0,40	259,5	373,946	0,5		0,71	8	373,946	0,5
0,41	253,5	373,946	0,5		0,72	0	373,946	0,5
0,42	247	373,946	0,5		0,73	0	373,946	0,5
0,43	240,5	373,946	0,5		0,74	0	373,946	0,5
0,44	234	373,946	0,5		0,75	0	373,946	0,5
0,45	227	373,946	0,5		0,76	0	373,946	0,5
0,46	220	373,946	0,5		0,77	0	373,946	0,5
0,47	213	373,946	0,5		0,78	0	373,946	0,5
0,48	205,5	373,946	0,5		0,79	0	373,946	0,5
0,49	198	373,946	0,5		0,80	0	373,946	0,5
0,50	190,5	373,946	0,5		0,81	0	373,946	0,5
0,51	183	373,946	0,5		0,82	0	373,946	0,5
0,52	175	373,946	0,5		0,83	0	373,946	0,5
0,53	167,5	373,946	0,5		0,84	0	373,946	0,5
0,54	159,5	373,946	0,5		0,85	0	373,946	0,5
0,55	151,5	373,946	0,5		0,86	0	373,946	0,5
0,56	143	373,946	0,5		0,87	0	373,946	0,5
0,57	135	373,946	0,5		0,88	0	373,946	0,5
0,58	126,5	373,946	0,5		0,89	0	373,946	0,5
0,59	118	373,946	0,5		0,90	0	373,946	0,5
0,60	109,5	373,946	0,5		0,91	0	373,946	0,5
0,61	101	373,946	0,5		0,92	0	373,946	0,5
0,62	92,5	373,946	0,5		0,93	0	373,946	0,5
0,63	83,5	373,946	0,5		0,94	0	373,946	0,5
0,64	74,5	373,946	0,5		0,95	0	373,946	0,5
0,65	65,5	373,946	0,5		0,96	0	373,946	0,5
0,66	56,5	373,946	0,5		0,97	0	373,946	0,5
0,67	47	373,946	0,5		0,98	0	373,946	0,5
0,68	38	373,946	0,5		0,99	0	373,946	0,5
0,69	28,5	373,946	0,5		1,00	0	373,946	0,5

Tabla 7. Valores elegidos para las curvas de títulos

Curvas de presiones

Se muestra en la Tabla 8 el conjunto de valores utilizado.

P	Tmin	Tmax	ΔT		P	Tmin	Tmax	ΔT
[MPa]	[°C]	[°C]	[°C]		[MPa]	[°C]	[°C]	[°C]
0,000611213	0	800	0,5		0,4	143,36	817,473181	0,5
0,001	6,71	800	0,5		0,5	151,58	817,657474	0,5
0,0015	12,76	800	0,5		0,6	158,58	817,841671	0,5
0,002	17,24	800	0,5		0,7	164,70	818,025772	0,5
0,0025	20,82	800	0,5		0,8	170,16	818,209777	0,5
0,003	23,82	800	0,5		0,9	175,10	818,393685	0,5
0,004	28,71	800	0,5		1	179,63	818,577496	0,5
0,005	32,62	800	0,5		1,5	198,04	819,495079	0,5
0,006	35,91	800	0,5		2	212,13	820,410173	0,5
0,007	38,75	800	0,5		3	233,60	822,232706	0,5
0,008	41,26	800	0,5		4	250,10	824,044723	0,5
0,009	43,51	800	0,5		5	263,69	825,845871	0,5
0,01	45,55	800	0,5		10	310,74	834,67741	0,5
0,012	49,16	800	0,5		11	317,83	800	0,5
0,014	52,29	800	0,5		12	324,42	800	0,5
0,016	55,06	800	0,5		13	330,60	800	0,5
0,018	57,54	800	0,5		14	336,41	800	0,5
0,02	59,8	800	0,5		15	341,90	800	0,5
0,03	68,84	800	0,5		20	365,49	800	0,5
0,04	75,6	800	0,5		25	365	800	0,5
0,05	81,06	800	0,5		30	10	800	0,5
0,06	85,67	800	0,5		40	390	800	0,5
0,07	89,68	800	0,5		50	399	800	0,5
0,08	93,23	800	0,5		60	407	800	0,5
0,09	96,43	800	0,5		70	414	800	0,5
0,1	99,35	800	0,5		80	421	800	0,5
0,15	111,1	800	0,5		90	427	800	0,5
0,2	119,96	800	0,5		100	432,5	800	0,5
0,3	133,27	800	0,5					

Tabla 8. Conjunto de valores para las curvas de presiones.

Se procede a realizar el barrido entre las temperaturas mínimas y máximas para cada una de las presiones citadas, identificado primero la región en que se encuentra, para utilizar la correcta formulación de las variables a graficar.

Curvas de volúmenes específicos

La Tabla 9 muestra los valores elegidos para las curvas. Se procede de forma análoga a la descripta para el diagrama TS, pero obteniendo entalpía y entropía para su representación gráfica.

V	Tmin		V	Tmin
[m³/kg]	[°C]		[m³/kg]	[°C]
100	0		0,4	20
80	0		0,3	20
60	0		0,2	20
50	0		0,15	20
40	0		0,1	20
30	0		0,08	80
20	0		0,06	80
15	0		0,05	80
10	0		0,04	80
8	0		0,03	80
6	0		0,02	80
5	0		0,015	80
4	0		0,01	80
3	0		0,008	80
2	0		0,006	160
1,5	0		0,005	160
1	0		0,004	160
0,8	20		0,003	160
0,6	20		0,0025	160
0,5	20		0,002	240

Tabla 9. Conjunto de valores seleccionado para las curvas de volúmenes específicos.

Curvas de temperaturas

El conjunto de valores empleado se muestra en la Tabla 10.

T [°C]		T [°C]		T [°C]		T [°C]
0		230		460		690
10		240		470		700
20		250		480		710
30		260		490		720
40		270		500		730
50		280		510		740
60		290		520		750
70		300		530		760
80		310		540		770
90		320		550		780
100		330		560		790
110		340		570		800
120		350		580		810
130		360		590		820
140		370		600		830
150		380		610		840
160		390		620		850
170		400		630		860
180		410		640		870
190		420		650		880
200		430		660		890
210		440		670		900
220		450		680		910

Tabla 10. Conjunto de valores para las curvas de temperatura.

Para cada valor de temperatura se tomaron como límites las presiones de borde máximas y mínimas definidas en el gráfico de regiones (Fig. 1). Para temperaturas por debajo del punto crítico se han tenido en cuenta las entropías de líquido y vapor saturado. La variación de presión se calculó de forma tal que el salto de entropía entre un punto y el siguiente estuviera comprendido entre 0,1 y 0,01.

Resultados y discusión

Las Figuras 2 y 3 muestran los gráficos obtenidos, en escala adaptada para su reproducción en el presente trabajo.

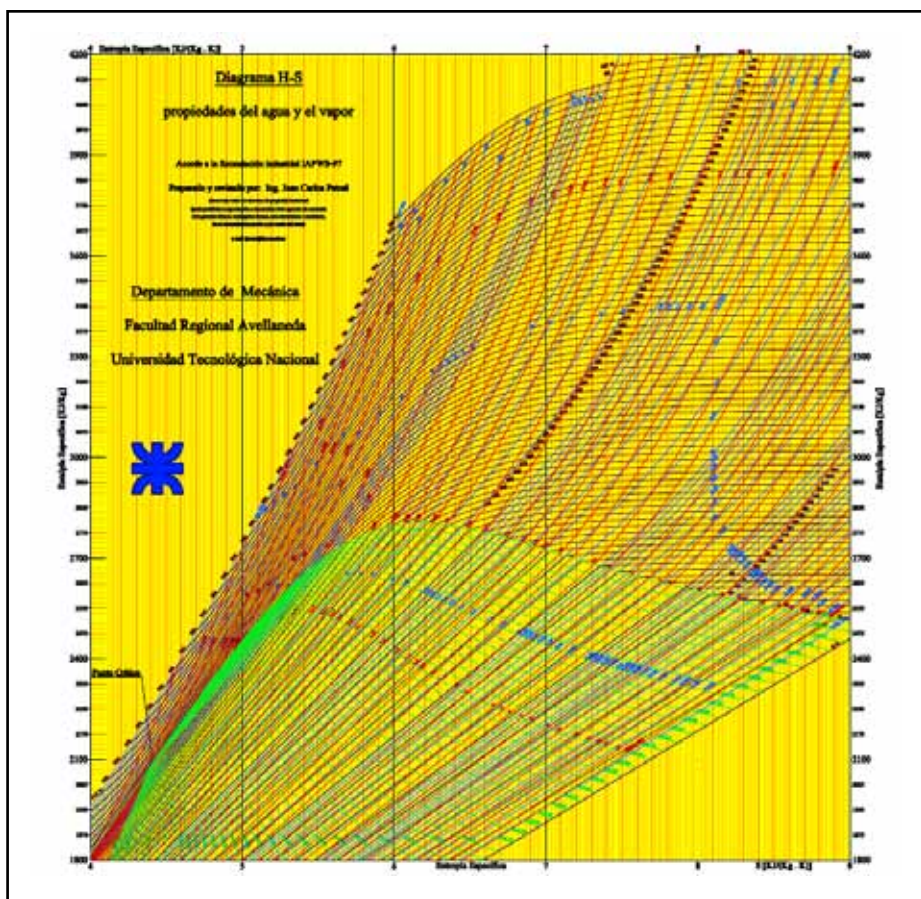


Fig. 3. Diagrama de Entalpía - Entropía

La realización de los gráficos permitió encontrar errores de transcripción de las fórmulas al programa y su posterior corrección. La verificación de los valores graficados fue realizada contra tablas termodinámicas reconocidas (Japan Society of Mechanical Engineers, 1999; ASME, 1999). Se calcularon con la misma formulación puntos aleatorios y se verificaron contra las tablas impresas. También fueron elegidos puntos como los de borde entre regiones. Así mismo se ha podido comprobar que la incertidumbre detallada (International Association for the Properties of Water and Steam (1997) Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, Erlangen, Germany, September 1997) y representada en la Fig. 4, corresponde a los gráficos obtenidos.

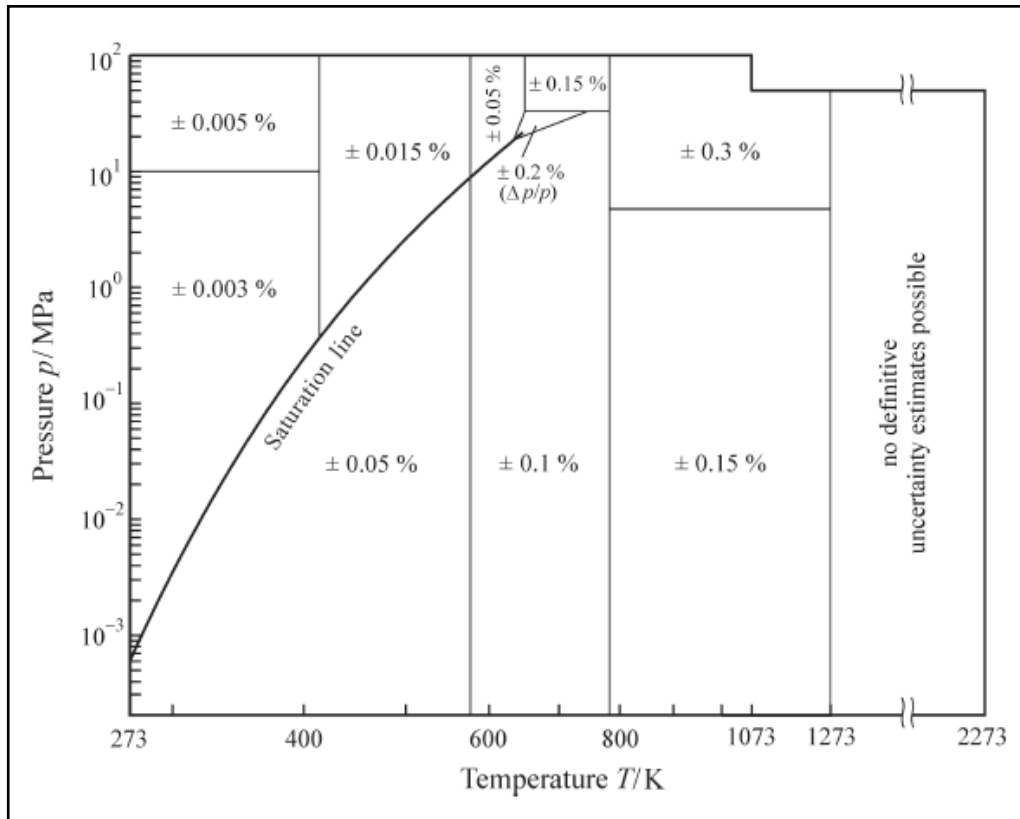


Fig. 4. Incertidumbres en volumen específico

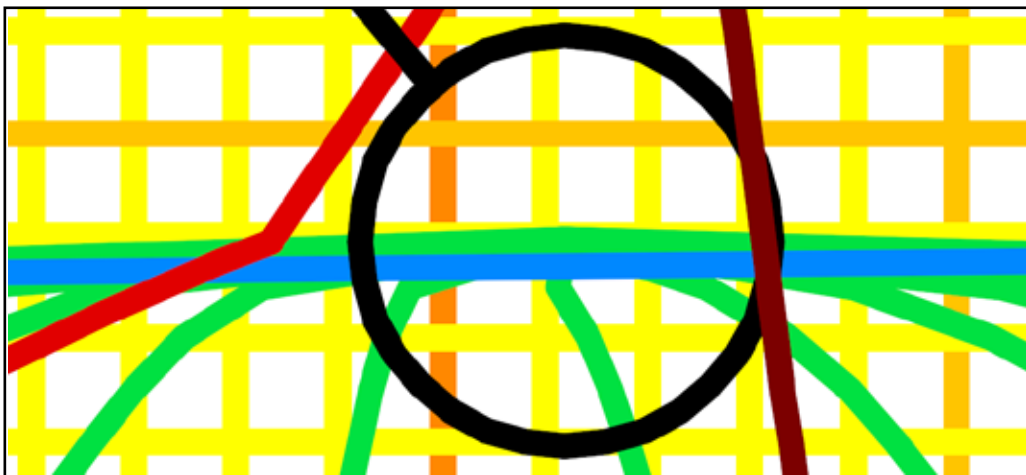


Fig.5. Ampliación de la zona del punto crítico en el diagrama Temperatura - Entropía

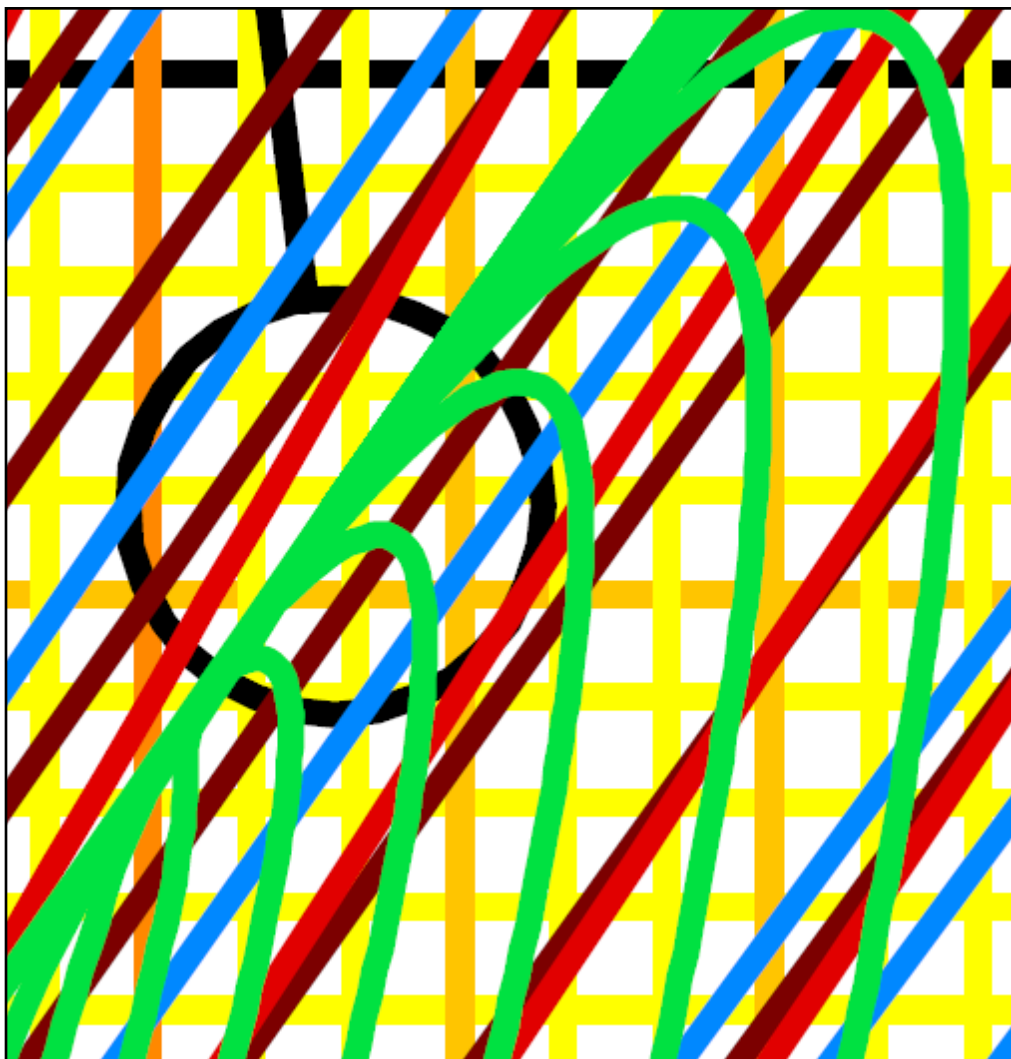


Fig.6. Ampliación de la zona del punto crítico en el diagrama Entalpía - Entropía

Las Figuras 5 y 6 muestran en forma ampliada la zona del punto crítico, marcada en ambas como el centro del círculo. Nótese cómo en la Fig. 5 por debajo de la línea horizontal más próxima al centro del círculo, las líneas de título evidencian un quiebre. Ocurre lo mismo con la Fig. 6, pero es enmascarado por el espesor de la línea y da la sensación que algunas líneas de título no terminan en el punto crítico. Esto se debe a que la zona del punto crítico es la de mayor incertidumbre, tal cual es evidenciado en la Fig. 4,

En conclusión, la realización del presente trabajo ha hecho posible contar con dos diagramas que representan las propiedades del agua en las zonas de uso industrial y desarrollados con la formulación acorde y vigente, como así también tener el código fuente para desarrollar software específico a futuro.

Referencias

International Association for the Properties of Water and Steam (1997) *Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam*, Erlangen, Germany. También disponible en <http://www.iapws.org> (fecha de acceso: julio de 2009)

Callen, H. B., (1981) *Termodinámica*. Editorial A. C. Madrid

Japan Society of Mechanical Engineers (1999) *JSME Steam Tables*.

ASME (1999) *International Steam Tables for Industrial Use*, Second Edition.

MÉTODO PARA EL REDONDEO Y LA EXPRESIÓN AUTOMÁTICA DE CIFRAS SIGNIFICATIVAS EN ANÁLISIS MULTIELEMENTALES.

Eduardo Montoya¹, Isaac Marcos Cohen², María Celeste Fornaciari Iijadica³, Patricia Bedregal¹, Blanca Torres¹

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Av. Mitre 750 (1870) Avellaneda, Argentina.

³ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza, Agencia Minipost 1804, República Argentina.

emontoya@ipen.gob.pe

Recibido el 2 de junio de 2009; aceptado el 14 de julio de 2009

Resumen

Se ha desarrollado un algoritmo de computación para la determinación automática del número de cifras significativas en la presentación de resultados experimentales de análisis multielementales. El algoritmo, que puede ser implementado como una aplicación en diversos lenguajes de programación, parte de la consideración de la incertidumbre estándar que afecta a cada resultado. Es particularmente útil en los casos en los que se deben informar conjuntos grandes de resultados experimentales, como por ejemplo los que se obtienen mediante análisis por activación neutrónica, que cubren usualmente rangos de varios órdenes de magnitud. Se presentan y discuten resultados de su aplicación, empleando una macro programada en MS Excel. Se proponen criterios para informar los resultados con una o dos cifras significativas de incertidumbre, según la naturaleza de su utilización.

Palabras clave: análisis por activación neutrónica, cifras significativas, redondeo automático

Abstract

A computation algorithm has been developed in connection with the automatic determination of the number of significant figures for presentation of experimental results in multielement analyses. The algorithm, which can be implemented as an application in different programming languages, starts with the consideration of the standard uncertainty that affects each experimental result. It is particularly useful in the cases when large sets of experimental results should be informed, e.g. those obtained by neutron activation analysis, which cover a range of several orders of magnitude. Results of its application, using a macro programmed in MS Excel, are presented and discussed. Criteria for reporting experimental results, either with one or two significant figures of uncertainty, are proposed, depending on the nature of their use.

Key words: neutron activation analysis, significant figures, automatic rounding

Introducción

Aun cuando las reglas de redondeo y de uso de cifras significativas son herramientas primarias para la expresión y la comunicación de resultados experimentales, que deberían ser objeto de tratamiento habitual ya en la formación básica de grado, la existencia de criterios disímiles de presentación, muchas veces erróneos, demuestra que incluso en la literatura especializada este tema está muy lejos de ser dominado, si se supone que es al menos conocido.

Se observa frecuentemente en las publicaciones que el único criterio empleado en la presentación de datos es la igualdad en cifras decimales (véanse, a título de ejemplo, los trabajos de Freitas et al., 2000 y Duke et al., 2000). Semejante criterio, que tiene sustento técnico equivalente a ordenar los libros de una biblioteca por el alto de su lomo o el color de su tapa, conducen a expresiones cuestionables desde su significado físico.

Tablas incluidas en reconocidas publicaciones muestran inconsistencias entre el número de cifras decimales de resultados e incertidumbres, o en el número de cifras significativas de la incertidumbre dentro de la nómina, e inclusive casos aberrantes, como consignar las incertidumbres con tres o más cifras significativas. (Coccaro et al., 2000; Duke et al., 2000; Dybczyński et al., 2000; Gouveia y Prudêncio, 2000; Ilnat et al., (2000); Piasentin et al., 2000; Ding et al., 2000). Tales errores conceptuales arrastran inevitablemente problemas con el redondeo de los resultados, donde se emplean, a modo de recetas, criterios discutibles sin suficiente análisis.

Los trabajos citados en los párrafos anteriores pertenecen a las actas de una prestigiosa reunión internacional (10th. International Conference on Modern Trends in Activation Analysis) publicados en dos volúmenes consecutivos de una revista, también internacional, con arbitraje (Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry). Ejemplos similares (Grate et al., 1996; Vaughan et al., 1985; Chuang y Lo, 1996; Kyrš y Seluczký, 1993; de Jong et al., 1997) pueden encontrarse con facilidad, simplemente consultando la literatura.

Posiblemente, el origen de las anomalías mencionadas anteriormente se relacione con el manejo incorrecto de la expresión de la incertidumbre y sus cifras significativas, término que tiene varias definiciones, no siempre equivalentes. Nos referiremos aquí al concepto de cifra significativa como “aquella que aporta información no ambigua ni superflua acerca de una determinada medida experimental” (Varela, 2004). Es importante entender que el establecimiento de cifras significativas de un resultado (y, en consecuencia, el de sus cifras decimales, cuando la expresión lo imponga) estará determinado por el orden de magnitud y las cifras significativas de la incertidumbre, que no deberán ser superiores a dos (International Organization for Standardization, 1995).

Las reglas de cómputo de cifras significativas (Caballero y Harris, 1998; Varela, 2004) son simples y advierten incluso sobre ejemplos incorrectos de redondeo (Es necesario aclarar que no son universales; de hecho, los autores del presente trabajo no comparten el criterio, evidenciado en el primero de los trabajos citados, de redondear la incertidumbre en una misma tabla con una o dos cifras significativas, indistintamente).

La aplicación de reglas de redondeo a cualquier resultado experimental, sujeto a una incertidumbre estándar conocida, es una tarea fácil, que toma pocos segundos. La

situación es diferente cuando se trata con grandes cantidades de datos, cuyas magnitudes e incertidumbres asociadas pueden ser diferentes entre sí aun en órdenes de magnitud. Éste es, por ejemplo, el caso de las técnicas de análisis multielemental simultáneo, donde las matrices de resultados pueden implicar varios miles de valores. En este tipo de situaciones, la probabilidad de errores debidos al tedio del analista es alta y el tratamiento de los datos debe ser automatizado.

Aunque existen programas comerciales para realizar esta tarea, su costo es muy alto; por tal razón es conveniente contar con algoritmos y programas que puedan ser implementados en cualquier laboratorio.

En los últimos años, la aplicación Excel de Microsoft, para el manejo de hojas de cálculo, se ha utilizado como herramienta en diversos laboratorios (Robouch et al., 2000; Younes y Robouch, 2003; Landsberger et al., 2005). Es interesante observar que la automatización de datos se emplea en ocasiones sin tener en cuenta la necesidad de preservar una presentación donde todos los valores tengan sentido físico. En el trabajo de Landsberger et al (2005), citado anteriormente, se consignan incertidumbres con hasta cinco cifras significativas, obviamente inaceptables, derivadas de establecer sin mayor control un número arbitrario de cifras decimales.

En el presente trabajo se describe y evalúa una aplicación de Excel en forma de “macro”, para el redondeo y la presentación automática de cifras significativas de resultados experimentales sujetos a una incertidumbre estándar conocida. Se discuten además criterios para informar resultados con una sola cifra incierta (incertidumbres asociadas con una cifra significativa) o bien con dos cifras inciertas (incertidumbres asociadas con dos cifras significativas).

Metodología

Se utilizó en el desarrollo la versión de Excel del año 2003, en una computadora personal con 512 MB de memoria RAM, con un procesador Intel Pentium 4 de 3,20 GHz y que trabaja con el sistema operativo MS Windows XP Professional, versión 2002. La aplicación fue escrita en el lenguaje Visual Basic for Applications (VBA) incluido en Excel.

Consideraciones iniciales

El redondeo de un dato experimental, sujeto a una cierta incertidumbre estándar, requiere el conocimiento del número de cifras significativas del dato. A su vez, el número de cifras significativas queda determinado por el valor de la incertidumbre asociada al dato. Por lo tanto, el primer paso es encontrar el número de cifras significativas, mediante un algoritmo apropiado, para luego proceder al redondeo.

El programa Excel tiene incluida una función de redondeo, **Round(dato,N)**, que recibe como entrada el dato a redondear y el número de cifras decimales, $N \geq 0$, a ser conservados. La función da como salida el dato redondeado al número de decimales especificado. Si se intenta usar un valor $N < 0$, la función retornará un error.

Esta función no es inmediatamente útil para la expresión de datos experimentales, ya que el número de cifras significativas no siempre coincide con el número de cifras decimales. Por ejemplo, sea un dato que tiene el valor de cálculo 38,7951421 y una incertidumbre

estándar de cálculo 2,74323081. Es inmediato que el dato redondeado es 39 (dos cifras significativas y ninguna cifra decimal). En este caso la función **Round(dato,N=0)** procedería sin problemas.

La situación sería diferente, si por ejemplo, el dato fuese 29511,4374 y la incertidumbre estándar cruda 2086,77375. En este caso el dato debería ser redondeado a $2,95 \times 10^4$ y la incertidumbre estándar a $2,1 \times 10^3$, (2 cifras significativas) o a $3,0 \times 10^4$ y 2×10^3 , respectivamente, si la incertidumbre va a ser informada con una sola cifra significativa. En este caso, el uso de la función **Round(dato,N)** requiere una preparación previa. Otra limitación de la función **Round(dato,N)** del VBA incluido en Excel es que arroja errores cuando debe trabajar con números de órdenes de magnitud menores que 10^{-21} . Si bien estos órdenes difícilmente aparezcan como resultados analíticos, es necesario corregir tal anomalía desde el punto de vista formal, y más aun si se pretendiera extender el uso del presente algoritmo a la presentación de otro tipo de datos (A título de ejemplo, la masa del electrón expresada en gramos es de un orden de magnitud tan pequeño como 10^{-28}).

También es necesario considerar problemas derivados de la precisión de los datos de tipo "Double" (variable de punto decimal flotante de doble precisión). Por ejemplo, si el dato a considerar es el número de Avogadro, con una incertidumbre estándar de $u = 3,6E17$, la aritmética de doble precisión de Excel producirá 6,02213670000001E23 en lugar de 6,0221367E23.

Otro problema de Excel está en el formato de presentación de los datos y la presentación de los ceros. Por ejemplo, si un dato redondeado a 2 cifras significativas resulta 1,0, el programa escribirá 1, a pesar de que en este caso el cero es significativo. En consecuencia, toda aplicación que se desarrolle para la expresión de datos deberá manejar los problemas de formato.

Descripción del algoritmo y la aplicación

La figura 1 muestra esquemáticamente el algoritmo empleado. Dado que algunas cantidades a medir pueden ser negativas y que se emplean logaritmos en varias etapas del proceso, al inicio del cálculo se toman los valores absolutos del dato y de la incertidumbre.

En el paso siguiente (2), el algoritmo trabaja suponiendo inicialmente un orden de magnitud muy bajo (por ejemplo $OMX_0 = 10^{-50}$), y un número inicial de cifras decimales (ND) dado por:

$$ND = CSU - \log_{10}(OMU) \quad (1)$$

En esta ecuación CSU es el número de cifras significativas considerado para la incertidumbre, que puede ser igual a 1 ó 2.

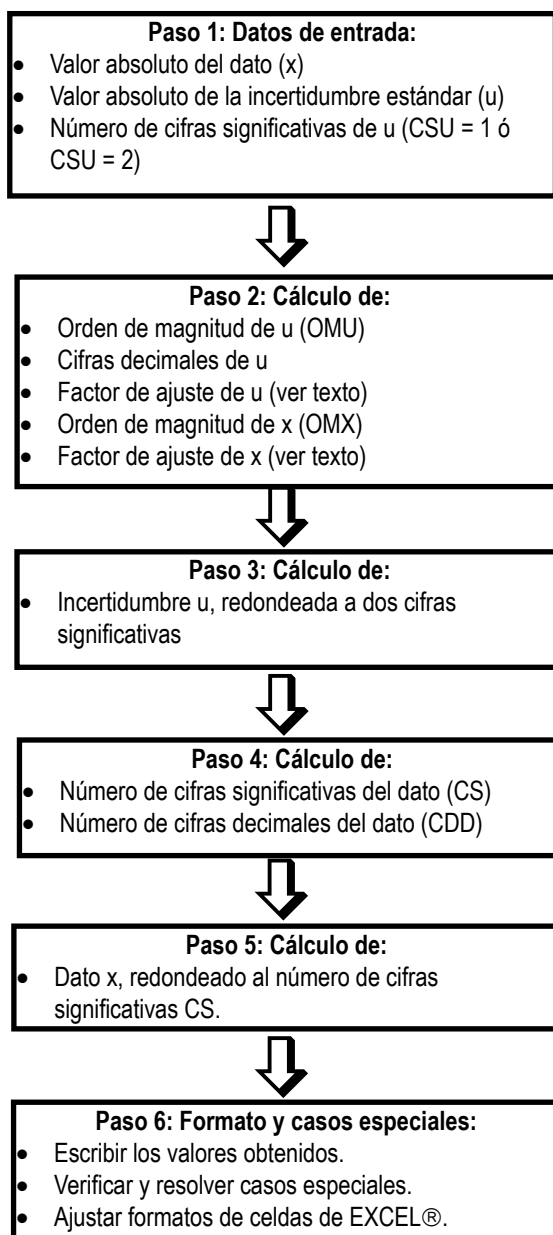


Figura 1: Esquema general del algoritmo de cálculo.

Se procede a comparar el valor supuesto para el orden de magnitud con el valor de la incertidumbre bajo consideración. Mientras la incertidumbre resulte mayor, se incrementa el orden de magnitud por un factor de 10 y se disminuye el número supuesto de cifras decimales en 1, tantas veces como sea necesario. Por ejemplo, para una incertidumbre primaria de 0,008423875 el proceso se detendrá cuando el orden de magnitud de la incertidumbre haya alcanzado el valor de 0,01 (un orden de magnitud por exceso) y el número de cifras decimales el valor de 4. El algoritmo corrige el valor final del orden de magnitud de la incertidumbre multiplicando por 0,1 y guarda el resultado para uso posterior.

Durante este proceso, el factor de ajuste es igual a 1, a menos que el número de cifras decimales baje tanto que llegue a ser menor que cero. En este momento, el algoritmo divide el factor de ajuste por 10 y pone nuevamente en cero el número de decimales. Si el valor de la incertidumbre todavía resultara mayor que el del orden de magnitud supuesto, el número de decimales se mantendrá en cero mientras que el factor de ajuste seguirá disminuyendo en factores de 10. Así por ejemplo, en el caso de que la incertidumbre de cálculo fuese igual a 1249,751135, el proceso termina cuando el orden de magnitud alcance un valor 10^4 (que, como en el caso anterior, se corregirá a 10^3), mientras que el factor de ajuste habrá alcanzado el valor de 0,01 y el número de cifras decimales se mantendrá en cero. La determinación del orden de magnitud para el caso del dato se realiza de manera completamente análoga.

La utilidad del factor de ajuste (f) es que permite usar la función **Round(dato,N)** para efectuar el redondeo. Por ejemplo, para redondear 1249,751135 a $1,2 \times 10^3$, (2 cifras significativas) se usa el siguiente artificio:

$$u = \text{Round}(u \cdot f, 0) / f \quad (2)$$

En el ejemplo considerado, al multiplicar 1249,751135 por 0,01 el resultado es 12,49751135, que redondeado a cero cifras decimales produce 12. Finalmente, al dividir por 0,01 se obtiene 1200, que es la incertidumbre redondeada. Con este ejemplo queda descrito el paso 3 (ver figura 1).

La determinación del número de cifras significativas (CS) del dato a redondear (ver figura 1, paso 4) se efectúa mediante la ecuación:

$$CS = CSU + \log_{10}(OMX / OMU) \quad (3)$$

El número de cifras decimales del dato redondeado queda fijado por el número de cifras decimales de la incertidumbre redondeada.

Para el redondeo de un dato dado al número de cifras significativas que le corresponda (paso 5), el algoritmo usado es el siguiente:

- **Paso 5.1:** Se convierte el valor inicial a un número entero que contiene todas sus cifras significativas. Esto se logra dividiendo por 10^z , donde $z = \log_{10}(OMX) - CS + 1$, y redondeando el resultado a cero cifras decimales. Así por ejemplo, si el dato es 0,112049354 y la incertidumbre de cálculo 0,008423875; la operación lo convierte en 1120.
- **Paso 5.2a:** Si el orden de magnitud del dato es menor que 10^{13} , se multiplica el resultado del paso anterior por el orden de magnitud del dato (OMX) y se divide por $10^{(CS-1)}$. En el ejemplo considerado, se multiplicaría 112 por su orden de magnitud (0,1) y se dividiría por $10^{(3-1)} = 10^2$. El resultado debería ser 0,1120, que es el dato redondeado. En su lugar el programa produce 0,112. Éste es un problema que sólo ocurre cuando existen ceros como últimos dígitos significativos en el extremo derecho. De cualquier manera, tal situación no causará un error neto, ya que el programa “sabe” que (en este caso) el número de cifras significativas es 4 y añadirá un cero a la derecha en el paso 6.¹⁵

15 - Ésta es una característica del programa que se mantiene aun si las expresiones contienen más de un cero significativo. Así, por ejemplo, datos del tipo 0,100000014 y 0,110000045 se convierten, respectivamente en 0,1000 y 0,1100, cuando el número de cifras significativas es cuatro.

- Paso 5.2b: Si, por el contrario, el orden de magnitud del dato es mayor o igual que 10^{13} , el resultado del paso 1 se multiplica por el orden de magnitud de la incertidumbre y se divide por el orden de magnitud del dato. Por ejemplo, para el número de Avogadro, ($u = 3,6 \times 10^{17}$), se obtiene como resultado 6,0221367. El exponente (en este caso “E+23”) se añade después, en forma automática, durante el ajuste del formato de presentación de resultados.
- Paso 5.2c: Si el orden de magnitud del dato es $OMX < 10^{20}$ se divide el resultado del paso 2a por 10^{20} y se termina el cálculo empleando la función **Round(dato,N)**; el valor final buscado es:

$$DR = \text{Round}(d2a, ND) * 10^{20} (5)$$

- En esta ecuación ND es el número de decimales que tendrá el dato redondeado y **d2a** es el resultado obtenido en el paso 2ª, dividido por 10^{20} . Con este artificio se elude el problema de los errores de la función **Round(dato, N)** para valores muy pequeños.

Resultados y Discusión

El método desarrollado se aplica con éxito desde mediados de 2008 en el Laboratorio de Técnicas Analíticas Nucleares del IPEN, como parte de un programa más amplio, de cálculo automático de resultados de análisis por activación neutrónica según el método del k_0 (Montoya et al., 2009). Como se puede apreciar en la figura 1, la rutina de cálculo es una secuencia simple y puede ser fácilmente incluida como componente de programas más amplios, para la automatización del tratamiento y la presentación de datos experimentales.

En razón de que el énfasis está puesto en este caso en los datos resultantes del análisis multielemental de diversas muestras, el algoritmo permite la aplicación de criterios distintos, según se trate de la información al usuario o la destinada al archivo del propio laboratorio. El usuario requiere del resultado analítico para un nivel de decisión, de forma tal que la expresión debe ser suficientemente simple como para permitir su rápida interpretación; lo aconsejable aquí sería brindar la incertidumbre con sólo una cifra significativa. En cambio, el laboratorio puede requerir del dato histórico con fines de comparación o de actualización, si las constantes involucradas en el cálculo, extraídas de la literatura, registran nuevos valores recomendados. En tal situación, la expresión de una cifra significativa podría representar un nivel de aproximación muy grande en el redondeo, que de alguna forma representaría una distorsión suficiente como para invalidar la posibilidad de efectuar nuevos ajustes, por cuya razón es recomendable el uso de dos cifras significativas.

Cualquiera sea el número de cifras significativas que se decidiera emplear (siempre uno o dos, y no más) es claro que la incertidumbre es el factor que determina el número de dígitos significativos y cifras decimales del resultado y sobre esta base es que se efectúa el redondeo de la expresión.

En la Tabla 1 se presentan ejemplos de resultados obtenidos al aplicar el algoritmo propuesto, considerando una y dos cifras significativas para la incertidumbre. La muestra seleccionada corresponde a un fragmento de cerámica arqueológica de estilo Nazca, y formó parte de un lote de 136 muestras, analizadas en octubre de 2008. Salvo para uranio y torio, donde existe indicación aclaratoria, los nucleidos tabulados representan a los elementos determinados. Puede verse que los datos y sus incertidumbres asociadas han sido redondeados correctamente en todos los casos. El tiempo de ejecución observado es menor que un segundo, para un conjunto de 250 sometidos al proceso de redondeo. Las

pruebas de validación y optimización continúan al presente.

La ecuación (1) puede tomarse como una definición del número de cifras decimales para todos casos en que $OMU \leq 1$, siempre que $OMU > 0$. Esta ecuación expresa que el número de cifras decimales de la incertidumbre, y por ende el número de cifras decimales del dato redondeado, están determinados, de manera conjunta, por el número de cifras significativas y el orden de magnitud de la incertidumbre estándar asociada al dato.

NUCLEIDO	Dato por cálculo mg/kg)	Incertidumbre estándar por cálculo	Incertidumbre estándar con 2 cifras significativas		Incertidumbre estándar con 1 cifra significativa	
			Dato redondeado	Incertidumbre estándar redondeada	Dato redondeado	Incertidumbre estándar redondeada
As-76	13,55744151	0,258837089	13,56	0,26	13,6	0,3
Ba-131	550,5404735	31,14327223	551	31	550	30
Br-82	1,460978013	0,064212489	1,461	0,064	1,46	0,06
Co-60	10,01563459	0,177053079	10,02	0,18	10,0	0,2
Cr-51	32,68663068	1,386776295	32,7	1,4	33	1
Cs-134	11,49914867	0,24393378	11,50	0,24	11,5	0,2
Eu-152	0,953718781	0,023603336	0,954	0,024	0,95	0,02
Fe-59	30353,60496	536,5809984	30350 ¹	540*	30400*	500*
Ga-72	41,88538663	4,188538663	41,9	4,2	42	4
Hf-181	5,097843917	0,252330401	5,10	0,25	5,1	0,3
K-42	22430,86993	793,0510131	22430 ²	790**	22400**	800**
La-140	30,48899202	1,077948652	30,5	1,1	30	1
Lu-177	0,441661164	0,01561508	0,442	0,016	0,44	0,02
Mo-99	21,56005506	1,724804405	21,6	1,7	22	2
Na-24	17800,42907	314,6701031	17800**	310**	17800**	300**
Nd-147	29,51834062	2,087261885	29,5	2,1	30	2
Np-239 (U)	2,913191378	0,154495304	2,91	0,15	2,9	0,2
Pa-233 (Th)	15,63868501	0,276455506	15,64	0,28	15,6	0,3
Rb-86	134,4507063	5,70426038	134,5	5,7	134	6
Sb-122	1,996077117	0,070571983	1,996	0,071	2,00	0,07
Sc-46	15,99428069	0,565483218	15,99	0,57	16,0	0,6
Sm-153	4,336327851	0,153312342	4,34	0,15	4,3	0,2
Sr-85	268,1291048	16,11565223	268	16	270	20
Ta-182	0,788705345	0,027884945	0,789	0,028	0,79	0,03
Tb-160	0,533800741	0,018872706	0,534	0,019	0,53	0,02
W-187	5,178398698	0,256317659	5,18	0,26	5,2	0,3
Yb-175	2,823333091	0,059891939	2,823	0,060	2,82	0,06
Zn-65	85,07610782	6,015789286	85,1	6,0	85	6

Tabla 1. Ejemplos de redondeo y ajuste de cifras significativas de resultados, obtenidos, para una muestra de cerámica arqueológica de estilo Nazca, analizada mediante activación neutrónica instrumental.

* Debe entenderse que estos datos contienen ceros no significativos (dos o uno, para redondeo con una o dos cifras significativas, respectivamente). Desde un punto de vista estricto, las expresiones redondeadas deberían ser $(3035 \pm 54) \times 10$ y $(304 \pm 5) \times 10^2$, respectivamente, pero esta forma de presentación, de acuerdo a la experiencia de los autores, tiende a confundir al usuario.

** Caben para estos datos consideraciones similares a las formuladas en el párrafo inmediatamente precedente.

Un ejemplo práctico permite sostener la validez de la ecuación (3), que se propone como una definición del número de cifras significativas. Así, si se obtienen datos de cálculo como 29511,43737 con una incertidumbre estándar cruda de 2086,773752, al aplicar la ecuación (3) considerando 02 cifras significativas para la incertidumbre ($CSU = 2$), se obtiene:

$$\begin{aligned}OMX &= 10^4 \\OMU &= 10^3 \\CS &= 2 + \log_{10}(10^4/10^3) = 3\end{aligned}$$

La ecuación (3) supone que el dato es diferente de cero.

Se ha demostrado la factibilidad de usar Excel para el redondeo automático de conjuntos heterogéneos de datos experimentales, aplicando los criterios aceptados para el uso de las cifras significativas y en forma independiente de las cifras decimales de los datos de entrada. Es indudable que, en comparación con otros lenguajes de programación, el uso de esta aplicación implica mayores problemas de formato y precisión aritmética, pero las ventajas de la de Excel, en su versión 2003, se encuentran en su bajo costo, facilidad de uso y posibilidad de programación amigable de aplicaciones matemáticas, moderadamente exigentes, con respuesta relativamente rápida.

Referencias

Caballero J, y Harris, D. (1998) "There seems to be uncertainty about the use of significant figures in reporting uncertainties of results". *J. Chem. Educ.* 75(8),996

Chuang, J. T., y Lo, J. G. (1996) "Extraction chromatographic separation of carrier-free ^{90}Y from $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ generators by crown ether coated silica gels". *J. Radional. Nucl. Chem.* 204, 81-93.

Coccaro, D. M. B., Saiki, M., Vasconcellos, M. B. A. y Marcelli, M. P. (2000) "Evaluation of trace elements in different species of lichens by neutron activation analysis". *J. Radional. Nucl. Chem.* 244, 141-145.

de Jong, M., Bakker, W. H., Krenning, E. P., Breemna, W. A. P., van der Pluijm, M. E., Bernard, B. F., Visser, T. J., Jermann, E., Béhé, M., Powell, P. y Mäcke, H. R. (1997) "Yttrium-90 and indium-111 labelling, receptor binding and biodistribution of [DOTA⁰,D-Phe¹,Tyr³]octreotide, a promising somatostatin analogue for radionuclide therapy". *European Journal of Nuclear Medicine* 24, 368-371.

Ding, W. J., Qian, Q. F., Hou, X. L., Feng, W. Y., Chai, Z. F. y Wangke (2000) "Determination of chromium combined with DNAS, RNA and proteins in chromium-rich brewer's yeast by NAA". *J. Radional. Nucl. Chem.* 244, 259-262.

Duke, M. J. M., Plante, A. F. y McGill, W. B. (2000) "Application of INAA in the characterisation and quantification of Dy-labeled ceramic spheres and their use as inert tracers in soil studies". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 204, 163-171.

Dybczyński, R., Danko, B. y Polkowska-Motrenko, H. (2000) "NAA study on homogeneity of reference materials and their suitability for microanalytical techniques". *J. Radional. Nucl. Chem.* 245, 97-104.

Freitas, M. C., Reis, M. A., Marques, A. P., Wolterbeek, H. Th. (2000). "Dispersion of chemical elements in an industrial environment studied by biomonitoring using *Parmelia sulcata*". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 244, 109-115.

Gouveia, M. A. y Prudêncio, M. I. (2000) "New data on sixteen reference materials obtained by INAA". *J. Radional. Nucl. Chem.* 245, 105-108.

Grate, J. W., Strebin, R., y Janata, J. (1996) "Automated analysis of radionuclides in nuclear waste: rapid determination of ^{90}Sr by sequential injection analysis". *Anal. Chem.* 68, 33-340.

Ihnat, M. (2000) "Biological reference materials for quality control of elemental composition analytical data". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 245, 73-80.

International Organization for Standardization (1995) *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. ISO/IEC Guide 98:1995.

Kyrš, M. y Seluczký, P. (1993) "A rapid separation of Sr from Ca by solvent extraction with dicarbollides in the presence of EDTA and polyethylene glycols". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 74, 153-165.

Landsberger S, Jackman K y Welch L. (2005) "Neutron activation analysis using Excel files and Canberra Genie-2000". *J. Radional. Nucl. Chem.* 264, 235-237.

Montoya, E., Pardo, J., Mendoza, P., Ubillús, M., Bedregal P. y Torres, B. (2009) " k_0 -based Instrumental Neutron Activation Analysis Using MS-Excel and Canberra Genie-2000", a ser publicado en *Informe Científico Tecnológica del Instituto Peruano de Energía Nuclear*.

Piasentin, R. M., Armelin, M. J. A., Primavesi, O. y Saiki, M. (2000) "Study on the absorption of Fe, Mn, Mo and Zn by two cultivars of pigeonpea (*Cajanus cajan*, Millsp) submitted to two doses of fertilizers using INAA". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 244, 295-297.

Robouch, P., Arana, G., Eguskiza, M., Pommé, S. y Extebarria, N. (2000) "Uncertainty Budget for k_0 -NAA." *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 245, 195-197.

Varela, L. M. (2004) "De la medición de magnitudes físicas: unidades, cifras significativas e incertidumbres de medida". Disponible en:

www.enciga.org/boletin/56/De_La_Medicion_De_Magnitudes_Fisicas.pdf [Fecha de acceso: 2 de mayo de 2009].

Vaughan, A. T. M., Keeling, A. y Yankuba, S. C. S. (1985) "The production and biological distribution of yttrium-90 labeled antibodies". *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 36, 803-806.

Younes, N. y Robouch, P. (2003) "A Web tool for calculating k_0 -NAA uncertainties". *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 257, 665-667.

CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS. UN ESTUDIO DE CASO.

Carlos Alberto Sanchez, Stella Maris Boutet

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Avda. Mitre 750, Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina. csanchez@fra.utn.edu.ar

Recibido el 7 de junio de 2009; aceptado en versión revisada el 31 de julio de 2009

Resumen

Con el objeto de implementar mejoras en la fabricación de algunos productos de una empresa especializada en mecanizados de alta precisión, se realizó un estudio de caso aplicando el Control Estadístico de Procesos (CEP) sobre una pieza de seguridad crítica. Las primeras mediciones realizadas arrojaron un valor de media del proceso tendiente hacia el límite inferior de calidad, con Capacidad (C_p) $< 1,33$, el que ponía en evidencia que no se encontraba en condiciones para su producción. Se realizó la búsqueda de las causas mediante un diagrama de Ishikawa, en el cual se identificaron aquellas que imposibilitaban la producción. Solucionados los problemas, se procedió a un nuevo recuento de datos, que arrojó como resultado un aumento en la centralización del proceso y un valor de capacidad más favorable. Sin embargo, la implementación de la Carta de Control mostró un estado de comportamiento no aleatorio, por lo cual se reajustó el proceso, realizándose una nueva determinación a partir de la cual se construyó la Carta de Control patrón, obteniéndose un $C_p = 1,91$ y permitiendo de esta manera la puesta en producción de la pieza de seguridad crítica.

Palabras clave: Control Estadístico de Procesos, capacidad, implementación.

Abstract

With the purpose of implementing improvements in the manufacture of some products of an enterprise specialized in mechanized of high precision, a case study was carried out by the implementation of the Statistical Control of Processes (SCP) on a piece of critical safety. The first measurements threw a value of average of the process, towards the inferior limit of quality, with Capacity (C_p) < 1.33 , thus proving that it was not in conditions for production. The search of the causes was performed by a diagram of Ishikawa, in which those that made the production impossible were identified. The problems were solved and a new counting of data was made, showing an increase in the centralization of the process and a more favorable value of C_p . Nevertheless, the implementation of the Letter of Control indicated a state of nonrandom behavior; therefore, the process was readjusted and a new determination was performed, from which the Standard Chart of Control was elaborated. The new C_p value was $= 1,91$, thus allowing to put into production the piece of critical safety.

Key Words: Statistical Control of Processes, capacity, implementation.

Introducción

El presente trabajo está referido al estudio de caso realizado en la empresa Mecber S.A. dedicada a la fabricación de mecanismos de alta precisión para la industria automotriz, entre otras. Esta empresa es una de las llamadas “recuperadas”, que recibieron ayuda mediante el Programa de Trabajo Autogestionado que implementó la Secretaría de Empleo de la Nación. De esta forma, a partir del año 2001 es gerenciada por sus treinta ex empleados, que conformaron una cooperativa de trabajo. Sus principales clientes son Ford Argentina, Scania Argentina y Prestolite Electric Inc.

Actualmente la firma está implementando programas de mejora, trabajando con Normas ISO 14.000 y TS 16926:2002 en proceso. La norma de la serie TS 16926:2002 define los requisitos para performance de procesos normales de producción e indica las actividades a ser desarrolladas, conforme al desempeño de la característica de proceso-producto con relación a la estabilidad y la aptitud de proceso. Con estas directrices define más claramente las reglas para gerenciamiento del CEP y permite la revisión del plan de control para características que presentan alto desempeño en proceso. También establece la necesidad de planes de acción para eliminar condiciones de inestabilidad y mejorar aptitud de proceso. Independientemente de los resultados obtenidos, se enfatiza la necesidad de la mejora continua.

La empresa cuenta con equipos de control de calidad, tornos de control numérico computarizado, alimentadores de barras hidráulicos, centro de mecanizado, rectificadora tangencial CNC, robotización y descarga en determinadas máquinas y manufactura asistida por computadora (Cad-Cam).

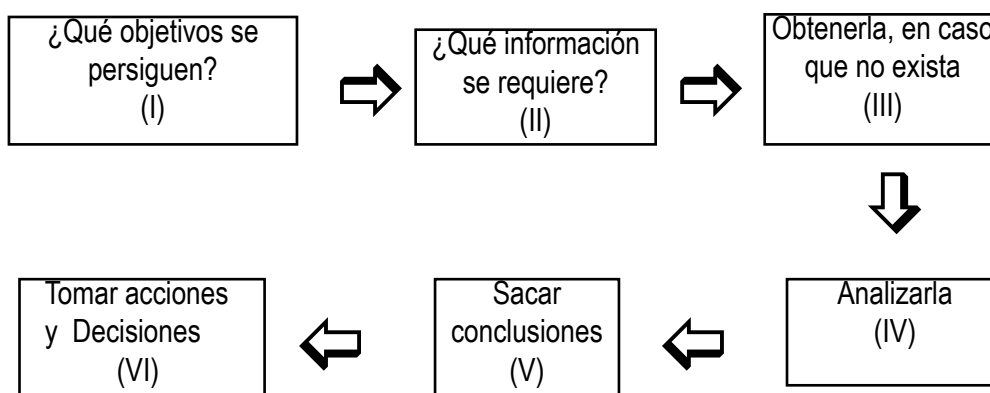
Guiados por el supuesto “la calidad no se controla, se fabrica”.... (Y como la empresa se dedica, entre otras cosas, a la fabricación de autopartes consideradas piezas de seguridad crítica) se entendió que era necesario la implementación de un Control Estadístico de Procesos (CEP)

El Control Estadístico de Procesos (CEP) es un método científico y riguroso de identificación de la calidad y productividad que pueden ser esperadas de un proceso de producción en su forma corriente de manera que el control de ambos atributos pueda construirse dentro del proceso. El CEP permite monitorear instantáneamente malos funcionamientos y mostrar donde ocurrieron, reportando las disfunciones directamente a los operadores de las máquinas para que se corrijan en tiempo real, permite verificar entregas oportunas o el empleo de materiales y demás recursos.

Esta técnica distingue las causas comunes de variación de las causas especiales o atribuibles al proceso, de manera que, si el proceso está evolucionando solamente por acción de las variables aleatorias (causas comunes) puede decirse que se encuentra bajo control estadístico y por lo tanto es un proceso predecible desde el punto de vista de la calidad, los costos y la productividad. El CEP identifica el impacto de cualquier cambio en el desempeño del proceso entero. Su uso se denominó primeramente Ciclo de Shewhart y luego Ciclo de Deming, o Kaizen (el término japonés para mejora continua).

Se decidió aplicar esta herramienta estadística en la etapa de rectificado de la punta de eje de la camioneta Ford Ranger 4 x 2 sobre el diámetro: 21.956 - 21.970. Para ello se requirió conocer el objeto de estudio, el tipo de acción o decisión que era necesario tomar y recursos y tiempo que se disponían para abordar el problema.

Una vez localizado el objeto, definidos los objetivos e identificado el tipo de información necesaria, se debía contar con procedimientos que permitieran, entre otras cosas, obtener la información, determinar en qué cantidad sería requerida y cómo habría de analizarse. La respuesta a estos interrogantes se obtiene esencialmente de la estadística a partir del conocimiento del objeto en estudio, del tipo de acción o decisión que se desee tomar y de los recursos y tiempo de que se disponga para abordar el problema, según la secuencia siguiente (Gutierrez Pulido, 1998)



En función de los pasos a seguir, y dado que los objetivos ya habían sido planteados, se comenzó con la implementación del procedimiento CEP, a partir del paso II del diagrama anterior.

Etapas que se implementaron para el CEP

Para los cálculos y gráficos estadísticos se utilizó el software estadístico MINITAB 14

Etapas 1: Evaluación general

- Recuento de datos (paso III del diagrama): la primera recolección de datos se realizó sobre 150 muestras tomadas por el método del instante, con el fin de evaluar el comportamiento del proceso respecto de su normalidad y su capacidad para cumplir con las especificaciones (ver Tabla 1)
- Cálculo de parámetros de tendencia central y dispersión.
- Histograma.
- Box Plot, Probability Plot
- Análisis de la distribución de datos, comportamiento normal, análisis de aptitud, mediante el cálculo de los parámetros: Pp y Ppk, toma de decisiones (pasos IV, V y VI del diagrama)

Nº	Di	Nº	Di	Nº	Di	Nº	Di	Nº	Di
1	21,960	31	21,964	61	21,963	91	21,963	121	21,965
2	21,960	32	21,961	62	21,960	92	21,963	122	21,959
3	21,963	33	21,963	63	21,961	93	21,964	123	21,959
4	21,962	34	21,964	64	21,962	94	21,964	124	21,965
5	21,961	35	21,959	65	21,964	95	21,965	125	21,960
6	21,959	36	21,959	66	21,963	96	21,964	126	21,959
7	21,961	37	21,960	67	21,965	97	21,964	127	21,961
8	21,960	38	21,961	68	21,965	98	21,962	128	21,961
9	21,965	39	21,961	69	21,966	99	21,963	129	21,960
10	21,960	40	21,960	70	21,967	100	21,963	130	21,961
11	21,959	41	21,960	71	21,963	101	21,963	131	21,960
12	21,960	42	21,963	72	21,963	102	21,962	132	21,960
13	21,960	43	21,961	73	21,962	103	21,962	133	21,961
14	21,961	44	21,963	74	21,964	104	21,961	134	21,961
15	21,961	45	21,963	75	21,965	105	21,963	135	21,960
16	21,960	46	21,963	76	21,963	106	21,963	136	21,960
17	21,960	47	21,965	77	21,962	107	21,963	137	21,961
18	21,963	48	21,965	78	21,965	108	21,964	138	21,960
19	21,961	49	21,965	79	21,962	109	21,964	139	21,962
20	21,960	50	21,965	80	21,964	110	21,965	140	21,962
21	21,961	51	21,965	81	21,966	111	21,963	141	21,962
22	21,962	52	21,965	82	21,964	112	21,968	142	21,962
23	21,960	53	21,964	83	21,960	113	21,965	143	21,962
24	21,961	54	21,965	84	21,966	114	21,965	144	21,967
25	21,962	55	21,966	85	21,967	115	21,965	145	21,963
26	21,961	56	21,964	86	21,967	116	21,966	146	21,963
27	21,962	57	21,965	87	21,961	117	21,968	147	21,964
28	21,964	58	21,966	88	21,961	118	21,968	148	21,963
29	21,963	59	21,963	89	21,962	119	21,965	149	21,963
30	21,962	60	21,962	90	21,962	120	21,965	150	21,964

Tabla 1. Recuento de datos diámetro 21,956-21,970 (mm)

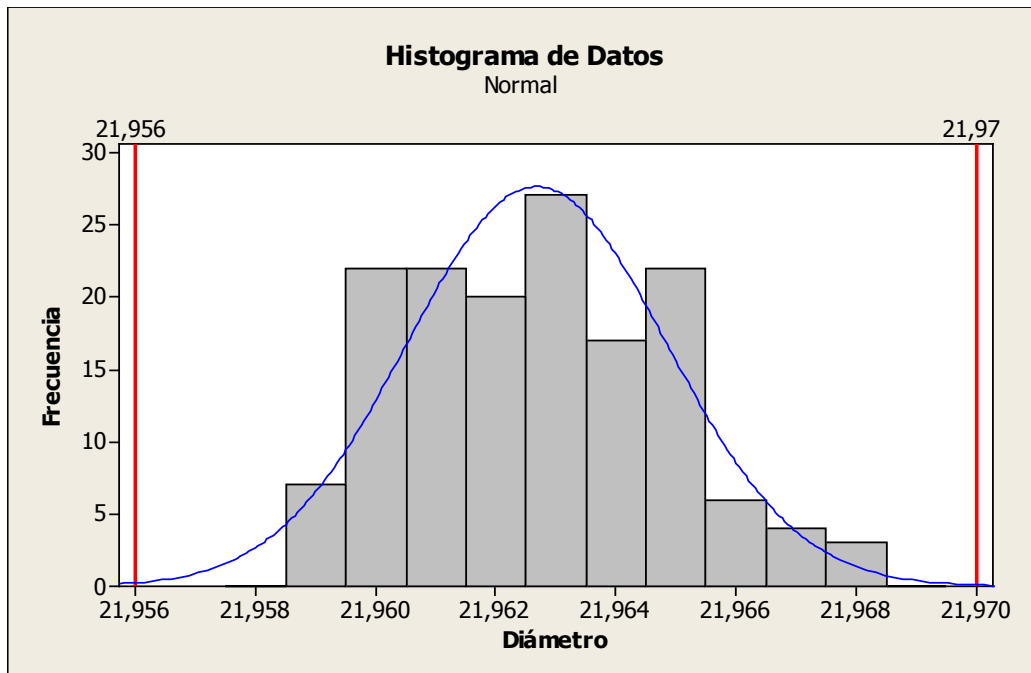


Figura 1. Histograma del recuento de datos de la Tabla 1.

En la figura 1 se observa una mayor acumulación de valores hacia la izquierda del gráfico. Se debe encontrar la causa de este comportamiento, dado que hay muchas mediciones que se acercan a la especificación inferior. Se observa así mismo en el gráfico el valor de la media de 21,97 mm y la desviación estándar de la muestra 0,002168 mm.

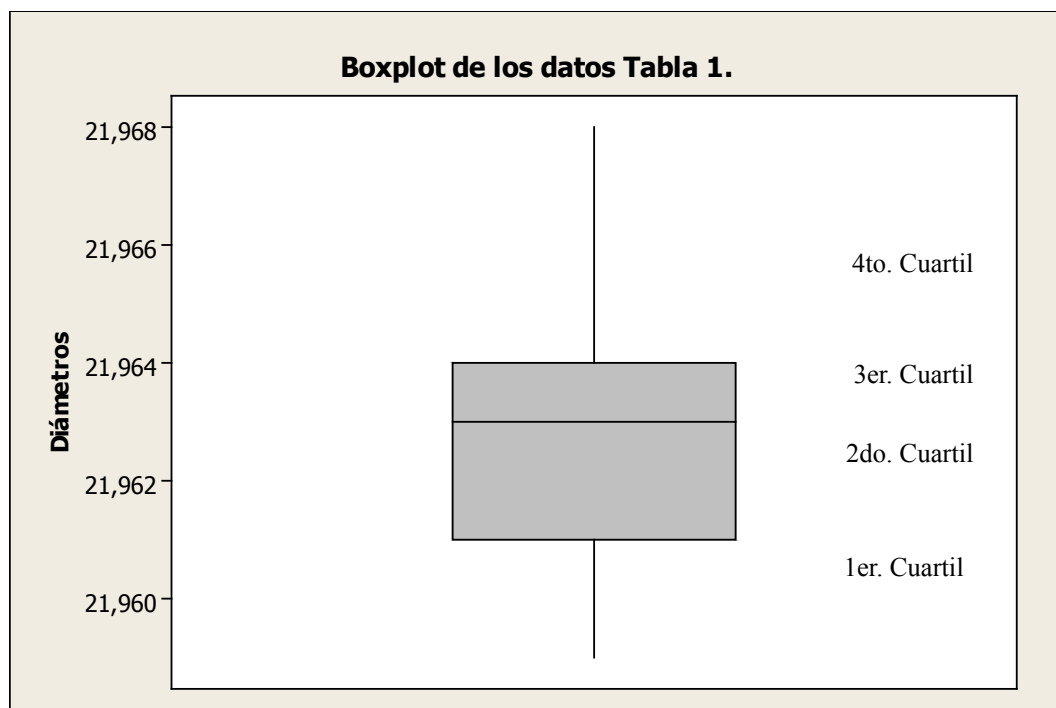


Figura 2. Gráfico Box-Plot del recuento de datos de la Tabla 1.

En el gráfico de la Figura 2. se visualiza una mayor acumulación de valores en el segundo cuartil, es decir, una tendencia a aproximarse a la especificación inferior.

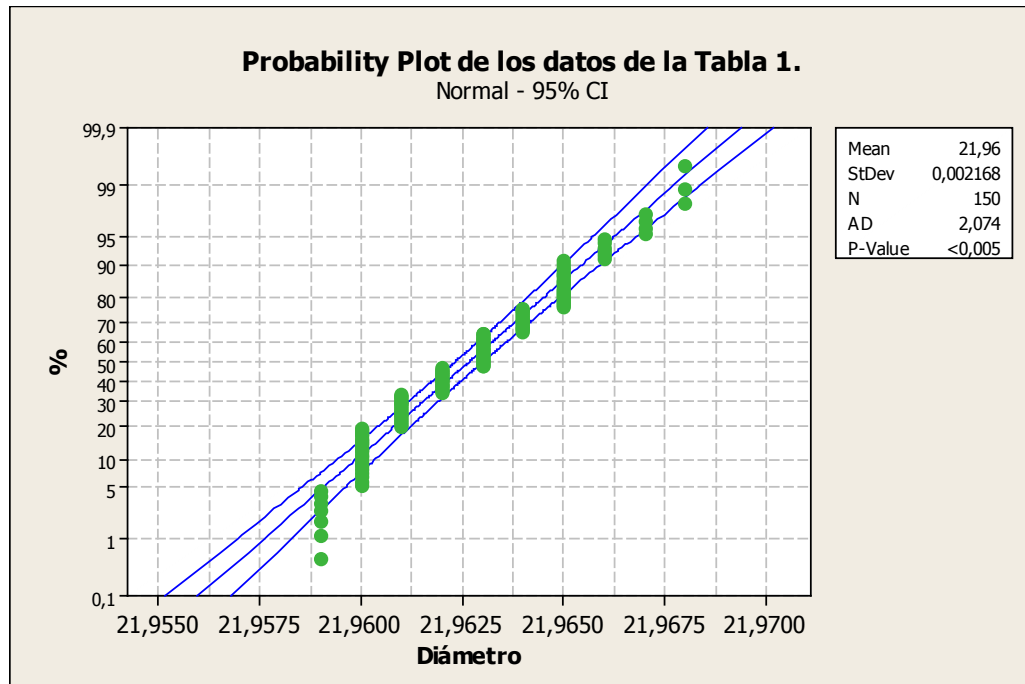


Figura 3. Gráfico Probability-Plot del recuento de datos de la Tabla 1.

De acuerdo al test de Normalidad de Anderson-Darling (AD), el valor del P-value es inferior a 0.05, por lo que podemos afirmar con un 95 % de confiabilidad que el patrón de puntos se aleja del comportamiento normal. Nótese en el gráfico de la figura 3 la dispersión de los puntos respecto de la recta de Normalidad y el alejamiento de los mismos de los límites de confianza del 95%

Análisis de la aptitud del proceso

Este análisis se hace a través del cálculo de medidores que dirán si el proceso es o no capaz de cumplir las especificaciones. El estudio preliminar de aptitud se hace a partir de dos parámetros: Pp y Ppk, en el caso de que el proceso sea estable, antes de iniciar la producción.

El parámetro Pp analiza la relación de variabilidad del proceso y los límites de especificación, mientras el parámetro Ppk denota la dispersión y también la centralización de valores analizados del proceso en relación con las especificaciones, estudiando la relación entre la realidad del proceso y los límites de especificación.

Cálculo de Pp y Ppk

$$Pp = (LES - LEI) / 6\sigma$$

$$Ppk = \min\{ (LES - \bar{X}) / 3\sigma ; (LEI - \bar{X}) / 3\sigma \} \quad \sigma \text{ es la desviación estándar de la muestra}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$$

Cálculo de los medidores para el diámetro

Especificaciones:

LES: 21,970 (Límite de especificación superior)

LEI: 21,956 (Límite de especificación inferior)

$\sigma = 0.0022$ (desvío estándar de la muestra)

$Pp = 1,076 < 1,33$ Sería necesario realizar mejoras del proceso antes de comenzar la producción

$Ppk = \min\{0,615; 1,537\}$ entonces el mínimo es $0,615 < 1,33 \neq 1,076$

Por lo tanto, el proceso está descentrado y no atiende las especificaciones.

Resulta conveniente, antes de iniciar el proceso de producción seriada, tomar medidas correctivas que permitan asegurar que el proceso cumple con las especificaciones.

Etapas 2: Búsqueda del problema y sus causas

Con el fin de determinar cuál es el problema más importante por el cual el proceso no sería capaz de producir bajo especificaciones y conocer la verdadera calidad que cumpla con los requisitos del consumidor (Ishikawa, 1986), se decide aplicar un diagrama causa-efecto, también llamado diagrama de Ishikawa (DI) del tipo 6M. El diagrama guía el análisis de las seis ramas principales causantes de los problemas: Métodos de trabajo, Mano de obra, Materiales, Maquinaria, Medición y Medio ambiente (en este caso la última rama no se ha tenido en cuenta, dado que no influye en el proceso),

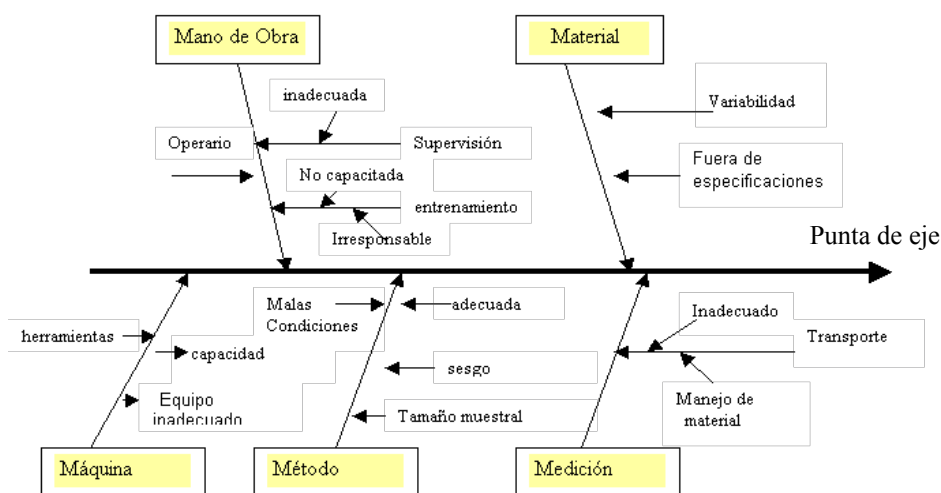


Figura 4. Diagrama de Ishikawa

Luego de un análisis exhaustivo de la búsqueda del problema, en sesiones de lluvia de ideas, se encontró que las causas principales que ocasionaron la incapacidad del proceso para fabricar las unidades mencionadas fueron:

En la causa principal Máquina (ver Figura 4), se analizó la subcausa herramientas, donde se encontró que una de las probables consecuencias de las deficiencias del rectificado se hallaba en la regulación de los sensores y en el rectificado de la piedra.

Otra causa analizada en la Figura 4 fue el Método, donde en la subcausa tamaño muestral se observó que las muestras habían sido obtenidas sin la frecuencia necesaria para tener la variabilidad deseada.

Para reducir los problemas encontrados se puso en consideración como objetivo que, ante el conocimiento basado en la experiencia, dadas veinticinco piezas se procediera a realizar la corrección de marcos con el patrón en el torno.

No obstante, el operario debería trabajar teniendo en cuenta los límites superior e inferior del proceso y en el caso que se estuviera acercando a cualquiera de estos, tendría que realizar la calibración del equipo.

No se observaron otros problemas de importancia.

Etapa 3: Verificación de las medidas correctivas tomadas

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, y realizados los cambios correspondientes, se procedió a una toma de muestras, aplicando en este caso muestreo por subgrupos de 5 unidades, de manera tal de encontrar la variabilidad entre las muestras y no como diferencia entre los elementos que la conforman (Gutierrez Pulido, 1998). Se tomaron 24 muestras a lo largo de una jornada de trabajo, cuyos resultados, obtenidos del informe de control de la sala de Metrología en la hoja de ruta correspondiente, se presentan en la Tabla 2. Una vez implementadas las mejoras se recalcularon parámetros y se realizaron nuevos gráficos.

Dado que el error de medición se encontraba en el orden de las milésimas, se consideraron para la tabulación los tres dígitos correspondientes.

Nº de muestra						R
1	964	964	964	964	965	1
2	968	966	965	966	964	4
3	965	967	965	965	964	3
4	965	967	968	966	967	3
5	966	966	962	963	966	4
6	963	964	965	965	963	2
7	962	965	962	965	962	3
8	964	967	966	966	968	4
9	962	962	964	964	963	2
10	966	967	968	966	967	2
11	965	966	963	960	963	6
12	963	966	962	963	965	4
13	967	963	966	963	963	4
14	965	966	964	964	966	2
15	965	966	964	963	963	3
16	961	965	965	965	960	5
17	959	963	963	962	961	4
18	964	967	966	962	967	5
19	962	963	961	961	965	4
20	963	963	965	962	962	3
21	964	966	967	965	964	3
22	961	962	963	961	963	2
23	965	964	963	963	967	4
24	966	965	960	961	966	6

Tabla 2. Datos de las muestras

Análisis de la aptitud del proceso

Cálculo de Pp y Ppk

 $\sigma = 1,99$ (0,00199) σ es la desviación estándar de la muestra

$$Pp = (LES - LEI) / 6\sigma$$

$$Pp = (21,970 - 21,956) / 6 \times 0,001987$$

$$Pp = 1,174 \quad Pp < 1,33$$

$$Ppk = \min \{ (LES - X) / 3\sigma ; (LEI - X) / 3\sigma \}$$

$$Ppk = \min \{ (21,970 - 21,964225) / 3 \times 0,001987 ; (21,964225 - 21,956) / 3 \times 0,001987 \}$$

$$Ppk = \min \{ 0,96 ; 1,379 \} \quad Ppk = 0,96$$

$$Ppk < 1,33$$

El Ppk es ligeramente inferior al Pp, lo que puede dar una indicación de que el proceso está ligeramente descentrado respecto de las especificaciones.

El proceso ha mejorado después de los cambios a pesar de que el valor de Pp no alcanza aún a 1,33. Ello implica que se realizarán nuevos ajustes y se procederá a una nueva toma de muestras, se podrá iniciar la producción, aunque teniendo un cuidado especial con las características más importantes, de manera tal de mantener el $Cpk > 1,33$ (Wadsworth et al.2005)

Luego de este análisis preliminar y de la determinación del proceso como apto para entrar en producción, tanto en relación a su estabilidad como al cumplimiento de las especificaciones, se puede, después de la entrada en régimen, acompañar su aptitud con la utilización de los medidores Cp y Cpk. Las interpretaciones de ambos son las mismas que para Pp y Ppk. Mientras los primeros contemplan la variabilidad desde las medias muestrales, los segundos lo hacen sobre la totalidad de la muestra.

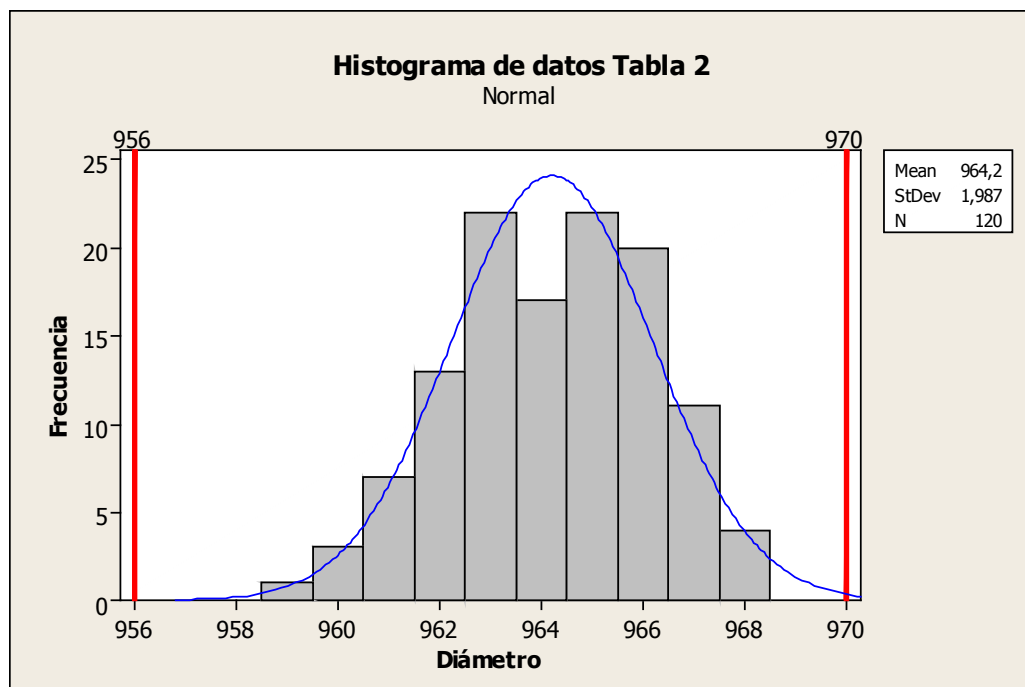


Figura 5. Histograma de los datos de la Tabla 2.

El histograma de la figura 5 presenta un comportamiento bastante simétrico respecto de la media y no posee sesgo. Observando la posición del cuerpo del histograma, respecto a la calidad óptima y a las especificaciones se aprecia que hay una mayor concentración de valores hacia el límite superior de especificación. La calidad de producción es adecuada. No presenta acantilados y se puede obviar la presencia de dos universos distintos por la aparición de una bimodalidad que no es representativa del resto del gráfico.

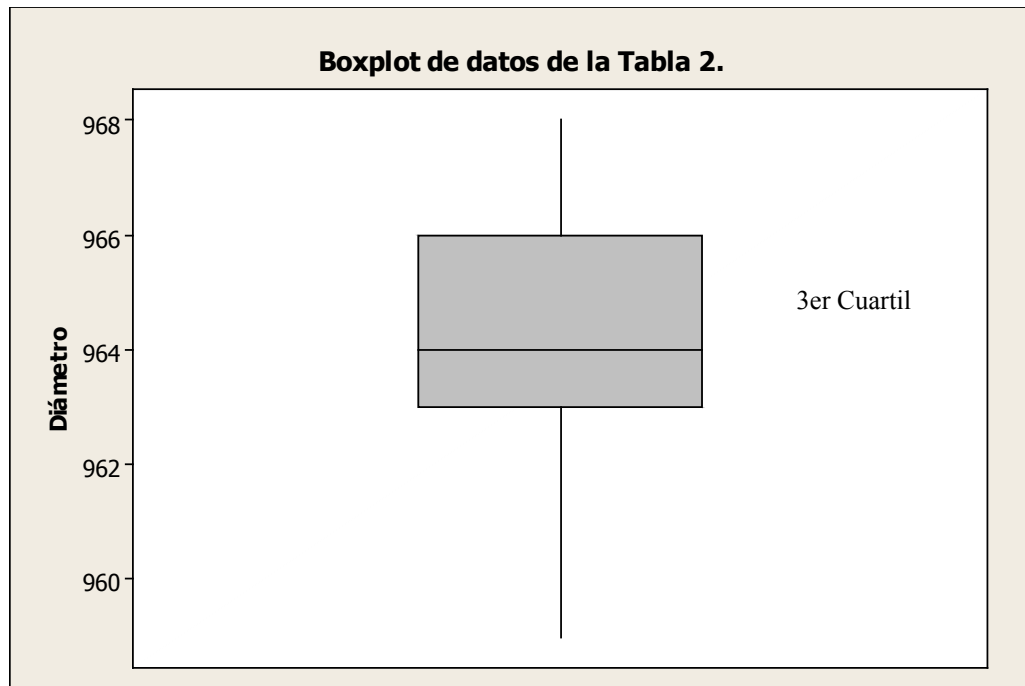


Figura 6. Boxplot de los datos de la Tabla 2.

En el gráfico de la figura 6 se ve también que el proceso está ligeramente descentrado, con una concentración de datos en el tercer cuartil, en el cual se aprecia que no existen puntos que jalen a la media.

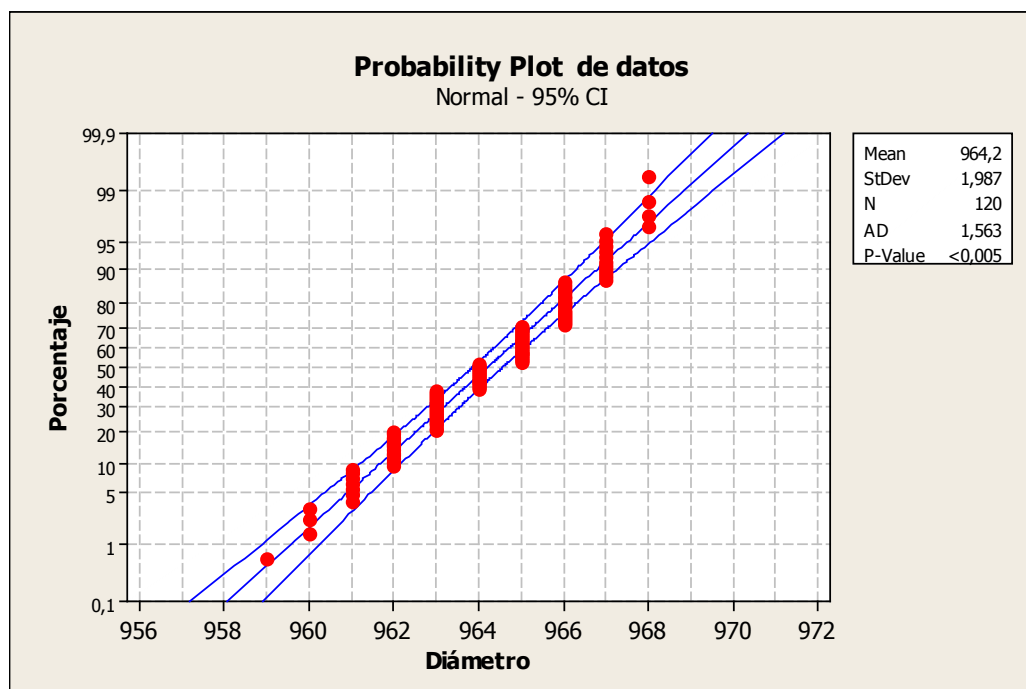


Figura 7 Probability Plot de los datos de la Tabla 2

De acuerdo al test de Normalidad de Anderson-Darling (AD), el valor del P-value es

inferior a 0,05, por lo que puede afirmarse observando la figura 7, tal como oportunamente se hizo en la Figura 3 que, con un 95 % de confiabilidad, el patrón de puntos se aleja del comportamiento normal.

Construcción de los Gráficos de Control de Shewhart para los datos de la Tabla 2

Una gráfica de control es una representación gráfica de la variación en la estadística calculada en el proceso (Wadsworth et al. 2005)

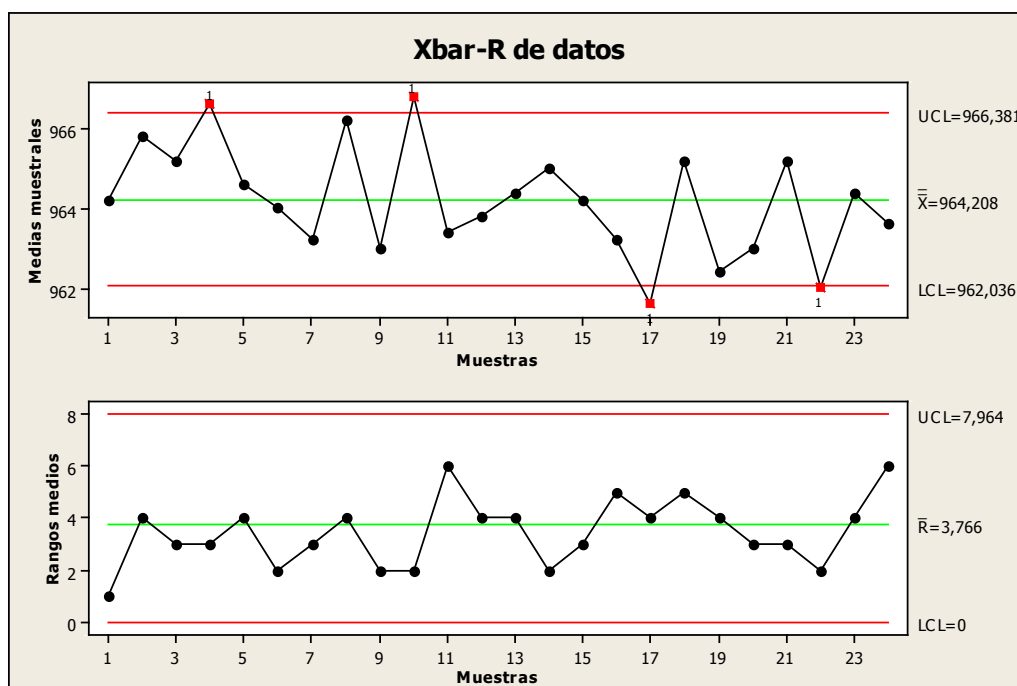


Figura 8 Gráficos Xbar-R para los datos de la Tabla 2.

Los límites del proceso para la Carta de Medias muestrales se obtienen con las fórmulas siguientes:

$$UCL \text{ (Límite de Control Superior)} = \bar{X} + 3 \sigma / \sqrt{n} \quad \sigma = R / d_2$$

$UCL = \bar{X} + 3 R/d_2 \times \sqrt{n} = \bar{X} + (3d_2/\sqrt{n}) \times R$, al valor entre paréntesis lo llamamos A_2 , que se encuentra tabulado para distintos valores de n en la Tabla 3

Número de elementos de la muestra (n)	A_2	E_2	D_2	D_3	D_4
2	1,880	2,660	1,128	-	3,267
3	1,023	1,772	1,693	-	2,575
4	0,729	1,457	2,059	-	2,282
5	0,577	1,290	2,393	-	2,115
6	0,483	1,184	2,534	-	2,004
7	0,419	1,109	2,704	0,076	1,924
8	0,373	1,054	2,847	0,136	1,864
9	0,337	1,010	2,970	0,184	1,816
10	0,308	0,975	3,078	0,223	1,777

Tabla 3. Factores para la construcción de las Cartas de Control

en nuestro caso, $n=5$ y $A_2= 0,577$ y R (del gráfico de la Figura 8) = 3,766

$$UCL = 964,208 + 3,766 \times 0,577 = 966,38$$

Análogamente

$$LCL \text{ (Límite de Control Inferior)} = \bar{X} - A_2 \times R = 962,04$$

Para el caso de la Carta de rangos los límites se obtienen con las siguientes fórmulas:

$$UCL = \bar{R} + 3\sigma_R, \text{ donde } \sigma_R = d_3 \times \sigma = d_3 \times R/d_2 = \bar{R} + 3(d_3 \times R/d_2) = (1 + 3d_3/d_2)\bar{R}$$

$UCL = D_4 \times R$, donde $D_4 = (1 + 3d_3/d_2)$, este valor está tabulado para distintos valores de n en la Tabla 3, en nuestro caso, para $n=5$, $D_4=2,115$, $R=3,766$

$$UCL = 7,965$$

Análogamente

$$LCL = D_3 \times R, \text{ de tabla } D_3 = 0$$

$$LCL = 0$$

Análisis de las Cartas de Control Obtenidas

En la Carta de Medias de la Figura 8 existen 4 puntos fuera de los límites de Control, lo que está indicando un comportamiento no aleatorio; el proceso no es estable desde el punto de vista de las medias muestrales, lo contrario sucede con la Carta de Rangos, en la cual se aprecia un comportamiento estable desde el punto de vista de la variabilidad.

Con respecto a la capacidad, puede decirse que el proceso cumple con las especificaciones pero no está en control estadístico, por lo que se trata de un proceso de categoría B (es útil, pero inestable) (Gutierrez Pulido, 1998). Lo que se aconseja es identificar las causas especiales de variación, analizarlas y prevenir que esto ocurra.

Si se hubiera podido investigar lo sucedido en las tomas de muestras 4, 10, 17 y 22 y determinar alguna anomalía en el rectificado de la pieza, se hubiera permitido desestimar dichas muestras, recalcular los límites y rehacer la Carta de Control. Debido a que no fue posible, dado el tiempo transcurrido, investigar las causas de los puntos fallidos que originaron tal desvío del proceso, se rehizo la Carta realizando un nuevo muestreo, como se describe a continuación.

Etapas 4: Determinación de la Carta de Control Patrón

Construcción de la carta de control

Se realizó la planilla de recolección de datos siguiendo los lineamientos mencionados anteriormente, obteniéndose los datos de la Tabla 4, en la cual, al igual que en la Tabla 2, las medidas del diámetro están expresadas en el orden de las milésimas.

Con el software estadístico, se construyó la Carta de Control patrón y se calcularon los medidores.

Muestra	Medidas			Rango	Medias muestrales
1	964	965	965	1	964,667
2	965	964	963	2	964,000
3	963	963	965	2	963,667
4	963	965	964	2	964,000
5	964	962	963	2	963,000
6	962	964	964	2	963,333
7	966	965	964	2	965,000
8	964	964	963	1	963,667
9	962	960	963	3	961,667
10	966	965	964	2	965,000
11	962	962	963	1	962,333
12	963	964	965	2	964,000
13	959	962	963	4	961,333
14	962	963	962	1	962,333
15	964	964	965	1	964,333
16	963	963	962	1	962,667
17	964	963	961	3	962,667
18	966	965	962	4	964,333
19	961	962	963	2	962,000
20	962	962	961	1	961,667

Tabla 4. Datos muestrales Diámetro 21.956-21.969

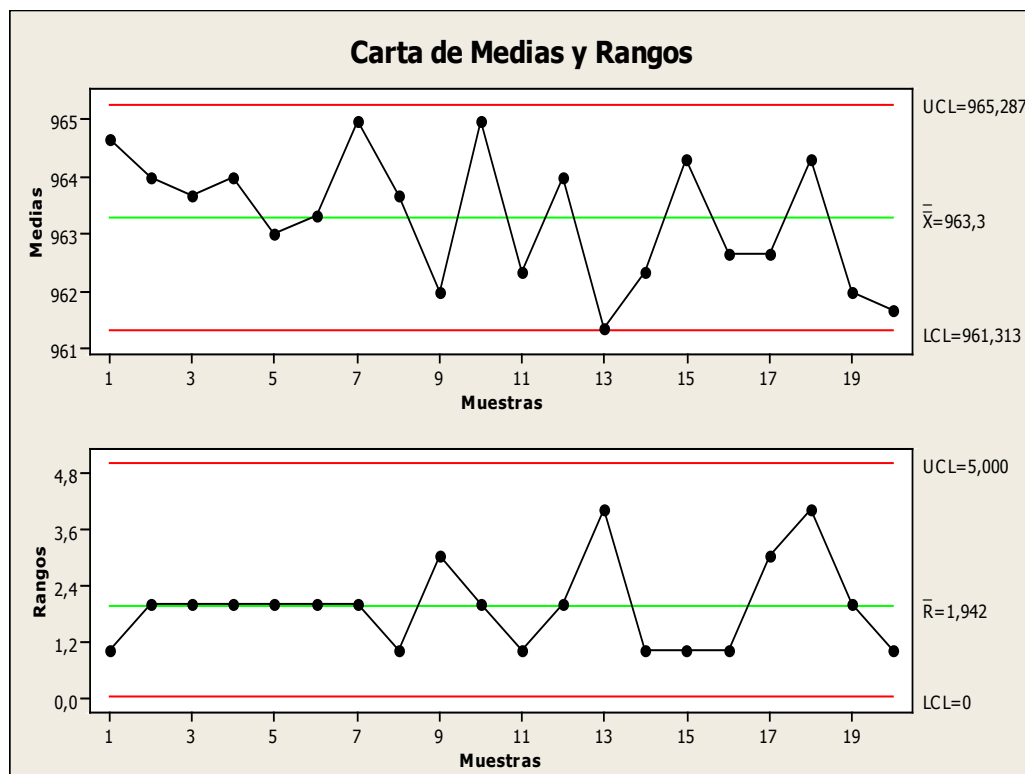


Figura 9 Carta Patrón de Medias y Rangos

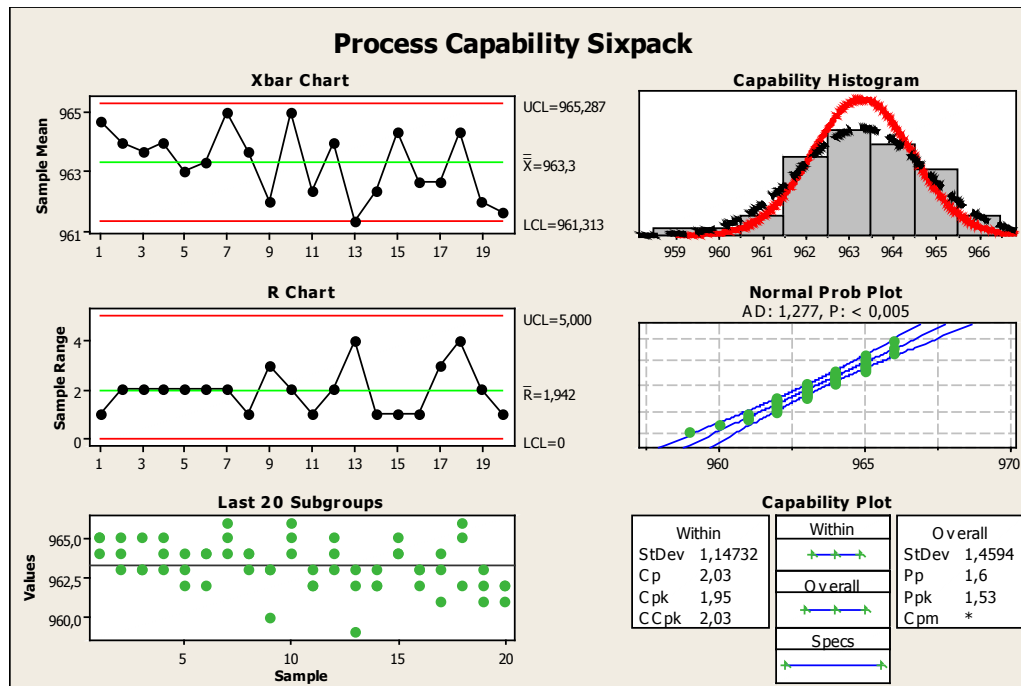


Figura 10. Sixpack correspondiente a la Tabla 4.

Análisis de la Carta de Control Xbar-R para el Diámetro 21,956- 21,970

- Como se aprecia en la Carta de Control de medias muestrales (Ver figura 9) la evolución del proceso es aleatoria, no hay causas especiales de variación. Ello es indicado por la presencia de todos los puntos dentro de los Límites de Control, lo que significa que se encuentra en "control estadístico" (Se debe tener cuidado con lo observado en la muestra 13, dada su proximidad al LCI).
- No hay comportamiento de patrones de puntos, ya que no se observan: a) Ciclos recurrentes (14 puntos consecutivos entre altos y bajos). b) Puntos cercanos a la media, poca variabilidad (15 puntos consecutivos en la zona de $\pm 1\sigma$). c) Puntos muy alejados de la media, mucha variabilidad (8 puntos consecutivos a ambos lado de la línea central, con ninguno en la zona de $\pm \sigma$). d) Tendencias hacia arriba o hacia abajo (más de 7 puntos consecutivos, ascendentes o descendentes).
- Con respecto a la Carta R, también se comporta aleatoriamente, si bien existen 6 puntos consecutivos sobre la media del rango; la prueba de poca variabilidad se comprueba con más de 15 puntos cerca de la media.
- Como se aprecia en el sixpack de la Figura 10 los índices de capacidad del Proceso, Cp y Cpk dan valores superiores a 1,67, lo que implica que el proceso es apto para cumplir con las especificaciones.

Las Cartas de Control realizadas demuestran un comportamiento aleatorio y serán tomadas como instrumento de Control para el rectificado del diámetro 21,956-21,970

Conclusiones

Se ha señalado en este trabajo que la filosofía de la mejora continua consiste en utilizar métodos estadísticos (Cartas de Control, gráficos de tendencia) y herramientas complementarias para análisis y toma de decisiones, tales como Gráficos de Pareto, Histograma, Diagrama Ishikawa, etc., capacitando a las personas a alcanzar el conocimiento y el control sobre los procesos que administran.

Por lo tanto, el objetivo mayor del Control Estadístico de Procesos es el de ayudar a quien lo utiliza en el gerenciamiento de su trabajo mediante el dominio de los factores que influyen en el proceso, permitiendo la práctica de la mejora continua.

Se pudo lograr con la aplicación de esta poderosa herramienta estadística el control de la estabilidad del proceso de rectificado del diámetro 21,956-21,970, y aumentar su aptitud, pasando de un proceso en categoría B a uno de categoría A, útil en cuanto a su capacidad y estable en cuanto a su comportamiento (Gutierrez Pulido, 1998)

Es importante mencionar que la simple implementación del CEP y de las restantes herramientas de calidad que lo acompañan no resolverán por si solas los problemas de producción de una empresa. El CEP es un método para auxiliar la identificación y la resolución de estos problemas, pero si no es acompañado con el compromiso de todas las personas con la mejora continua, los resultados finales serán poco efectivos e inconsistentes (Deming, 1984)

Agradecimientos

Agradecemos a directivos y empleados de la firma Meckber S.A. quienes nos han brindado el apoyo necesario y han puesto sus instalaciones y maquinarias a nuestra disposición para el desarrollo de este estudio de caso y al Ing. Gustavo J. Coronel por su desinteresada colaboración.

Referencias

Deming, W. E. (1984) Calidad, Productividad y Competitividad. Díaz de Santos: Madrid.

Gutierrez Pulido, G. (1998). Calidad Total y Productividad. Mc. Graw Hill: México.

Ishikawa, K. (1986) Qué es el Control Total de Calidad. Norma. Bogotá.

Wadsworth, H. M.; Stephens, K. S, y Godfrey, A. B. (2005) . Métodos de Control de Calidad. CECSA: México

Artículo de difusión

AHORRO ENERGÉTICO Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EN LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS¹⁶

Néstor Quadri

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Av. Ramón Franco 5050, Avellaneda. Argentina
nquadri@sinectis.com.ar

Recibido el 8 de mayo de 2009; aceptado el 31 de julio de 2009

Introducción

Un sistema de climatización bien proyectado y ejecutado, orientado hacia el ahorro de energía, debe contar con equipos eficientes, uso de combustibles económicos o fuentes de energía alternativas; a esto debe agregarse una correcta operación, tanto en lo relativo a la producción de los fluidos portadores como a la zonificación de los espacios, la flexibilidad de funcionamiento y el adecuado control de temperaturas, velocidad de distribución de fluidos y tiempos de utilización.

Las posibilidades de ahorro energético en el diseño de las instalaciones de climatización son muchísimas, pero para lograr la mejor solución es indispensable que haya una adecuada conjunción con el proyecto del edificio, dado que ambos *conforman un conjunto indivisible*. Las características arquitectónicas del edificio, como las propiedades térmicas de la envolvente, orientación de fachadas, distribución de los espacios interiores, al igual que la aplicación de un eficiente aislamiento térmico y la mejora en la hermeticidad de los cerramientos es fundamental, dado que ello implica equipos más pequeños con menor consumo energético durante toda la vida útil.

La eficiencia de esa demanda de energía depende, a su vez, del rendimiento de todos y cada uno de los equipos que componen la instalación, la utilización de energías residuales, el aprovechamiento de fuentes gratuitas como la energía solar y la entalpía del aire exterior, el uso de sistemas de enfriamiento evaporativo y, en general, el empleo de todos aquellos sistemas, aparatos y dispositivos que permitan la reducción del consumo de energía procedente de fuentes convencionales.

El diseño general de la instalación debe ser eficiente y mantenerse durante la vida útil prevista, a través del mantenimiento, la permanencia en el tiempo de las prestaciones y el rendimiento de todos sus componentes.

La implantación de sistemas centralizados o descentralizados de generación para

16 - El presente artículo es un compendio de la exposición del autor en el Seminario sobre Ahorro Energético en Diseño y Climatización de Edificios, en el marco de la VIII Jornadas de Vinculación Tecnológica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, octubre de. 2008.

satisfacer las demandas térmicas de un edificio, debe seleccionarse con criterios que persigan el mayor rendimiento energético y el menor impacto ambiental.

Con el fin de conseguir que la producción centralizada se aproxime lo más posible al régimen con rendimiento máximo, es necesario disponer de equipos en número, potencia y tipos adecuados a la demanda de energía térmica de la instalación.

Para ello, es necesario establecer las distintas tecnologías a emplear ya sea agua fría o expansión directa, los tipos de condensación (a agua o aire, etc.) considerando el diseño de la instalación para cumplir con la función requerida

Parámetros básicos a considerar

Existen numerosas tecnologías y medios de aplicación para disminuir el consumo energético, por lo que se deben analizar las características y particularidades de cada caso, de modo de aplicar conceptos de diseño en la selección de los sistemas, que permitan obtener menores gastos en la fase de explotación y mantenimiento, pudiéndose considerar para su estudio los siguientes parámetros básicos:

- Disminución de las necesidades de energía en el diseño del edificio.
- Utilización de energías gratuitas.
- Aprovechamiento de los calores residuales .
- Incremento de la eficiencia energética.
- Estudios específicos e inversiones.

Disminución de necesidades de energía en el diseño del edificio

La ejecución de un edificio energéticamente eficiente requiere evaluar numerosas alternativas en la que tienen primordial importancia los estudios del comportamiento y rendimiento térmico y su dependencia con la relación entre forma edilicia y volumen, adicionalmente a las características del envolvente y el diseño de la capacidad de acumulación térmica

Estos conceptos básicos, sumados al aprovechamiento pasivo y activo de la energía solar, deben estar en la concepción inicial de todo diseño de arquitectura y no se debe hacer un proyecto de aire acondicionado sin verificar previamente estos aspectos.

En nuestro país ubicado en el hemisferio sur, la orientación óptima es la norte, siendo conveniente adoptar una disposición con la cara alargada en el sentido norte-sur, que favorece los efectos de ventilación y circulación de aire entre los espacios del edificio. Los locales de servicio y sus pasillos, así como garajes, galerías, escaleras, etc., deben orientarse al sur, sureste o suroeste, tal como se observa en la figura 1.

Al ser éstas las orientaciones más desfavorables, actúan como espacios reguladores o volantes térmicos.

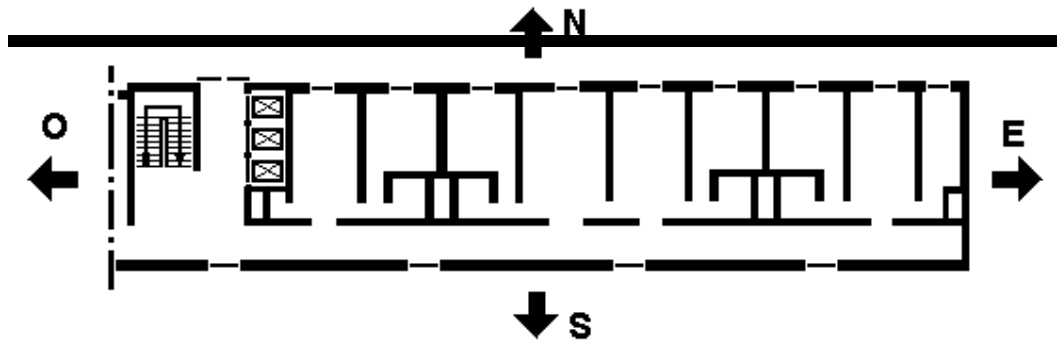


Figura 1. Disposición de espacios energéticamente conveniente en un edificio

Las habitaciones de mayor utilización como el living, el comedor y la cocina, deben estar sobre las orientaciones más soleadas, como el norte o noroeste. Los dormitorios deben orientarse en lo posible al noreste.

Los vidrios de las ventanas actúan como una *trampa de calor*, dado que dejan pasar la luz solar, pero no la radiación calórica invisible que emiten a su vez los objetos, tal como se observa en la figura 2. A esto se lo denomina *efecto invernadero*, que si bien es beneficioso en invierno, hace que en verano deban protegerse adecuadamente las ventanas mediante persianas o cortinas exteriores.



Figura 2. Efecto invernadero

Otro elemento importante de protección solar además de los árboles de hojas caducas, son los parasoles.

En las fachadas norte, los parasoles deben ser horizontales y en las este y oeste, siempre verticales y móviles, como se muestra en la figura 3.

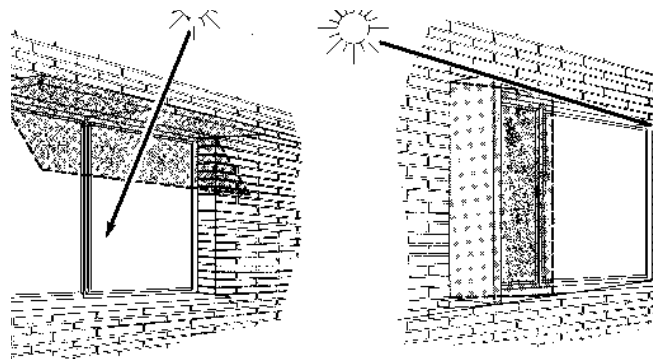


Figura 3. Disposición más conveniente de parasoles

El aislamiento térmico de los edificios es un elemento fundamental, dado que permite reducir la carga térmica de los equipos de acondicionamiento. A su vez es necesario el aislamiento térmico en las propias instalaciones de aire acondicionado, como el caso de cañerías o conductos, para evitar pérdidas de calor innecesarias.

En el diseño lumínico es importante la utilización de lámparas de alto rendimiento y automatizar su funcionamiento para lograr menor consumo eléctrico y disipación de calor, evitando en lo posible el uso de lámparas incandescentes.

Utilización de energías gratuitas

Además de *la energía solar*, que es un tema específico que se tratará por separado, se pueden mencionar tres tipos básicos de aprovechamientos energéticos.

- Entalpía del aire exterior (Free- cooling).
- Enfriamiento evaporativo.
- Enfriamiento natural.

Free-cooling

Una de las formas de reducir el consumo energético es el empleo del sistema economizador denominado *free-cooling de aire exterior* para aprovechar su baja cantidad de calor cuando las condiciones exteriores son favorables, especialmente para disminuir el uso de los equipos de refrigeración en verano.

En el esquema de la figura 4 se detalla el procedimiento usual para llevarlo a cabo. La regulación de las proporciones de aire se realiza mediante un juego de apertura y cierre de tres persianas modulantes sincronizadas automáticamente, comandadas por un controlador con un sensor exterior e interior. De esa manera, cuando se requiere más aire exterior, se van abriendo la persiana de entrada de aire, cerrando la del aire recirculado y abriendo la del aire expulsado al exterior.

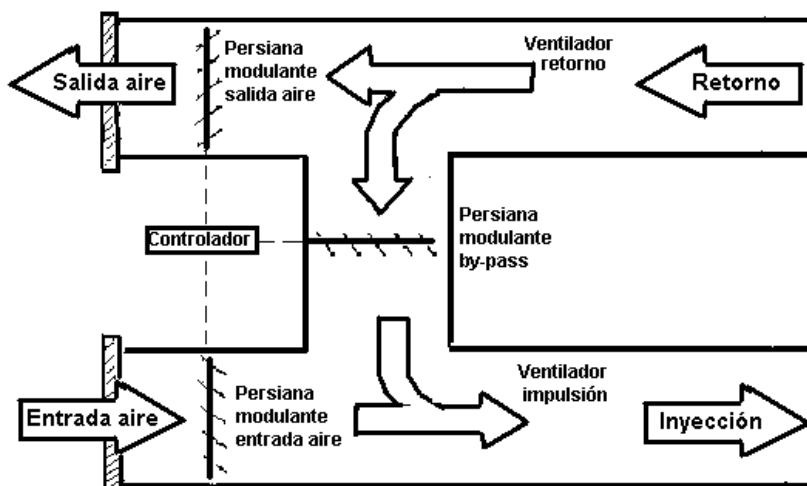


Figura 4. Esquema de funcionamiento de free-cooling

Se pueden plantear los siguientes casos de operación:

- Temperatura del aire exterior menor que la del aire de impulsión.
- Temperatura del aire exterior mayor que la temperatura del aire de impulsión, pero menor que la del aire de retorno de los locales.
- Temperatura del aire exterior mayor que la temperatura del aire de retorno de los locales.

En el gráfico de la figura 5 se representa el procedimiento descrito anteriormente, considerando una temperatura del aire del local o de retorno de 25°C y una temperatura mínima de impulsión de 15°C en el pico de carga del local a las 15 horas.

Se observa que durante el intervalo horario AB, la temperatura del aire exterior es menor que el de impulsión, de modo que el sistema modula las compuertas hasta lograr que la mezcla del aire exterior con el aire recirculado alcance el valor determinado por la curva de temperatura de impulsión, *siendo innecesaria la producción de frío*, por lo que el enfriamiento es gratuito.

En el intervalo BC la temperatura del aire exterior es mayor que la de impulsión pero inferior a la temperatura de retorno, que es la del local; en ese lapso el sistema frigorífico debe operar parcialmente para bajar la temperatura del aire exterior, que se introduce en un 100% hasta alcanzar la temperatura de impulsión requerido por los locales y cuando la *temperatura del aire exterior alcanza a la del local (punto L) constituye el límite del enfriamiento gratuito*.

Por último, durante el período CD, donde la temperatura del aire exterior es superior a la de retorno de los locales, la instalación funciona en forma convencional, ingresando sólo el aire exterior necesario para satisfacer las condiciones de ventilación de los locales. Los intervalos DE y EF son similares a los BC y AB.

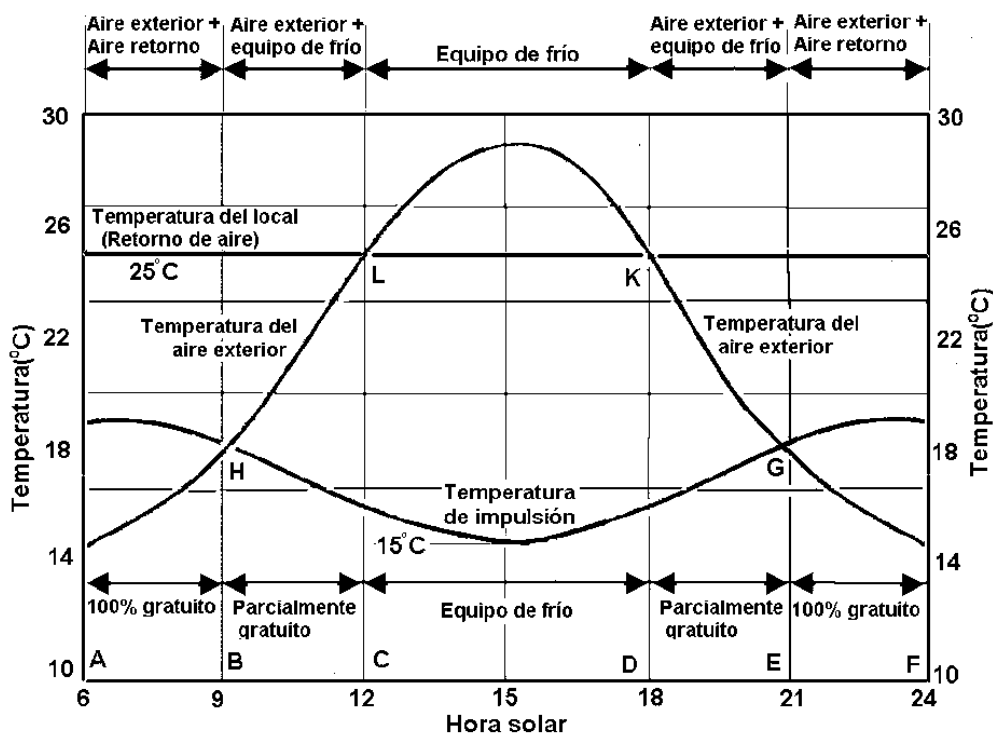


Figura 5. Gráfico de regulación de un free-cooling

El sistema descrito precedentemente se basa en el *control por temperatura* del aire exterior, pero en zonas climáticas donde durante un elevado número de días se produce un alto tenor de humedad exterior *debe siempre efectuarse un control entálpico* del sistema. El mismo consiste en determinar en todo momento los parámetros de temperatura y humedad, integrando automáticamente la entalpía y cantidad de calor del aire exterior y el de retorno de los locales.

En general estos sistemas son muy interesantes en locales que demandan refrigeración durante muchas horas al año, incluso en invierno, debido a la alta carga interna de iluminación y personas. Adicionalmente, la operación del free-cooling aporta un alto grado de ventilación, que mejora la calidad del aire interior y la baja entalpía del aire de ventilación que debe expulsarse al exterior por medios mecánicos puede ser aprovechado con recuperadores de calor, como se verá seguidamente.

Se ha determinado que este sistema es conveniente cuando el caudal de climatización es mayor que 200 m³/min (alrededor de 20 toneladas de refrigeración) y su régimen de funcionamiento sobrepase mil horas por año.

La instalación de un free-cooling puede realizarse en forma muy sencilla, con un equipo autocontenido con pleno de mezcla y persianas de regulación, como se detalla en la figura 6, en la que se ha simplificado el montaje, sin el empleo de ventiladores para la succión ó expulsión del aire.

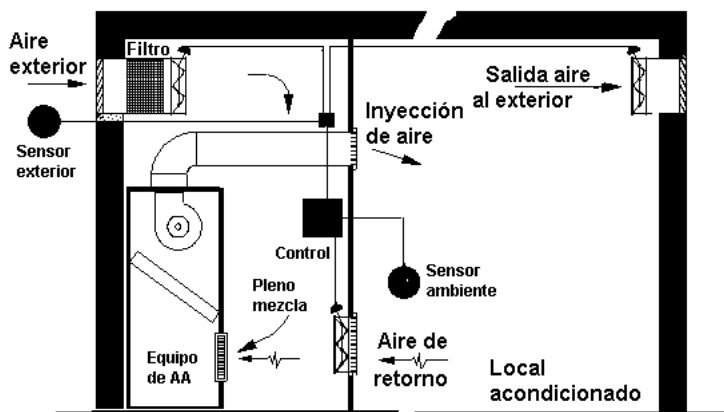


Figura 6. Esquema sencillo de aplicación de un free-cooling

El mantenimiento de la limpieza de los filtros es muy importante en los sistemas con free-cooling, debido a que el caudal circulante de aire exterior es mucho mayor que en los sistemas convencionales. Es conveniente, para mejorar las operaciones de mantenimiento, utilizar sensores que detecten la diferencia de presión antes y después del filtro y si superan un límite preestablecido se accione una alarma mediante un dispositivo de control.

Enfriamiento evaporativo

El enfriamiento evaporativo del aire se basa en la transferencia de calor sensible del aire seco a una masa de agua para evaporarla, distribuyéndose el aire mediante un ventilador, como se observa en el esquema de la figura 7.

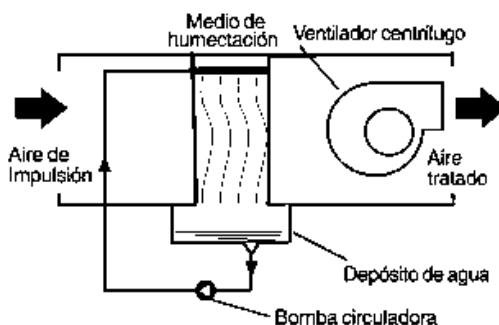


Figura 7. Esquema de equipo de enfriamiento evaporativo

Para realizar el enfriamiento evaporativo es necesario que se den en el clima exterior dos requisitos básicos:

- Elevadas temperatura exteriores de bulbo seco.
- Temperatura de bulbo húmedo relativamente baja.

Por tales motivos se justifica su aplicación únicamente en climas exteriores cálidos y secos.

Los sistemas evaporativos sólo pueden disminuir la temperatura del ambiente algunos grados y ventilar, pero agregan vapor de agua a los ambientes. Su aplicación entonces está

destinada a locales de procesos industriales, criaderos, grandes espacios de circulación, etc., donde el efecto de humedad no constituya un inconveniente.

Actualmente se fabrican equipos compactos autocontenidos de enfriamiento directo, que van desde las prestaciones individuales a equipos de mayor tamaño, para montarse sobre techo o paredes con conductos.

Enfriamiento natural

En climas de gran amplitud térmica diaria se puede aprovechar el aire fresco nocturno para enfriar agua, como el que se observa en la figura 8

Durante la noche el agua se enfría en el serpentín exterior y al hacerse más pesada descende, ocupando la parte inferior del tanque y el serpentín interior. Durante el día, el agua en el serpentín interior absorbe la disipación interna del local y al calentarse asciende al tanque acumulador. El sol calienta el agua del serpentín exterior, pero al ser más liviana queda prácticamente estratificada en el mismo. En la práctica se suelen utilizar en lugar de agua, sustancias refrigerantes que se solidifican durante la noche y se funden durante el día.

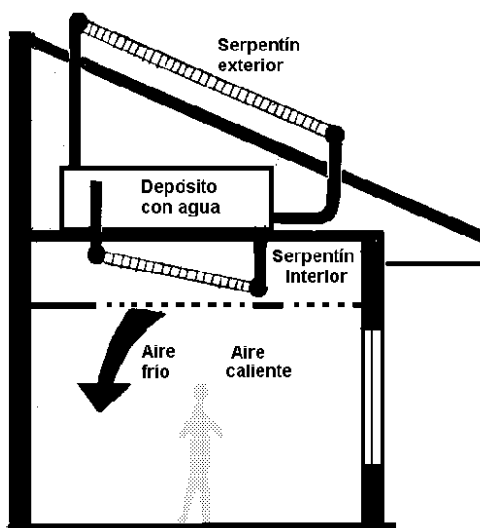


Figura 8. Esquema de sistema de enfriamiento natural

Formas de aprovechamiento de los calores residuales

Se pueden mencionar los siguientes métodos:

- Recuperación del aire de descarga de ventilación.
- Bombeo del calor del aire exterior.
- Desplazamiento del calor en el edificio.
- Utilización de calores disipados.
- Almacenamiento térmico.

Recuperación del calor del aire de descarga de ventilación

Existen períodos en los que el aire exterior es energéticamente favorable en verano, con temperaturas menores que las requeridas en el interior de los locales acondicionados.

Como el caudal de aire nuevo a introducir es similar al que se extrae y elimina contaminado al exterior, la recuperación de ese calor de los locales para transferirlo al aire nuevo a incorporar, es un método que permite reducir la carga de ventilación, como se observa en la figura 9.

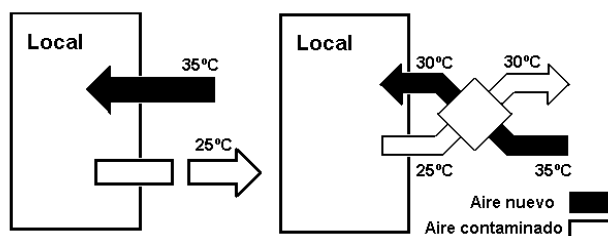


Figura 9. Ahorro energético en verano aprovechando el aire de extracción

El empleo de recuperadores de calor en instalaciones de climatización permite utilizar el calor sensible y latente residual del propio proceso de acondicionamiento, consiguiendo así:

- Reducir la capacidad de los equipamientos (costos de inversión).
- Reducir el consumo de energía de funcionamiento (costos de explotación).

Al igual que los free-cooling, se recomienda su instalación cuando el caudal de aire excede de 200 m³/min (alrededor de 20 toneladas) y su régimen de funcionamiento sobrepasa las mil horas por año. El diseño del recuperador debe tener un rendimiento superior a 45%, en las condiciones más extremas de diseño, y para ello existen varios tipos de recuperadores, los que pueden clasificar en sensibles y entálpicos, según su aplicación.

Los recuperadores de calor sensible realizan exclusivamente la transferencia del calor en función de la diferencia de temperatura entre ambos flujos de aire. El recuperador aire - aire es el más común, donde el intercambio de calor se produce a través de un conjunto de placas de metálicas muy próximas y paralelas, al provocarse los flujos de aire cruzados que no llegan a mezclarse. Los rendimientos de recuperación son entre 50 a 60% del calor sensible.

Los recuperadores entálpicos aprovechan, además del calor sensible, el calor latente contenido en la humedad del aire de extracción y se suele utilizar el recuperador rotativo, que está constituido por un panel circular de cartón endurecido, plástico o aluminio, formando pequeñas celdillas recubiertas por una capa viscosa inorgánica e higroscópica. El rendimiento de estos recuperadores pueden llegar al 75%.

Muchas veces se suele aprovechar la recuperación del calor del aire interior contaminado que se elimina al exterior en forma conjunta con el free-cooling, cuando las condiciones del aire exterior son favorables, tal cual se muestra en el esquema simplificado de la figura 10.

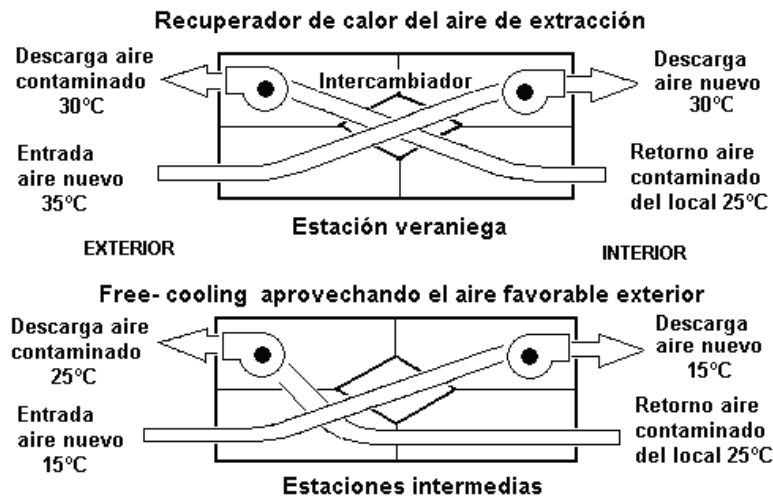


Figura 10. Recuperación de calor y free-cooling conjuntos

Bombeo del calor del aire exterior

Un equipo de refrigeración es una bomba de calor que extrae el calor interior en verano de una fuente de baja temperatura y lo elimina al exterior a una de alta temperatura. Sin embargo, una máquina refrigerante puede hacerse funcionar en invierno a los fines de calefacción invirtiendo el ciclo, de manera de extraer calor de una fuente externa fría como por ejemplo el aire exterior en invierno, para entregarlo a una fuente interna más caliente como puede ser el aire del local en esa época del año.

A esa forma de calentamiento aprovechando la bomba de calor de un equipo de refrigeración se la denomina calefacción mecánica.

Para explicar en forma simple esa propiedad bastaría hipotéticamente girar físicamente el equipo de aire acondicionado como se observa en la figura 11.

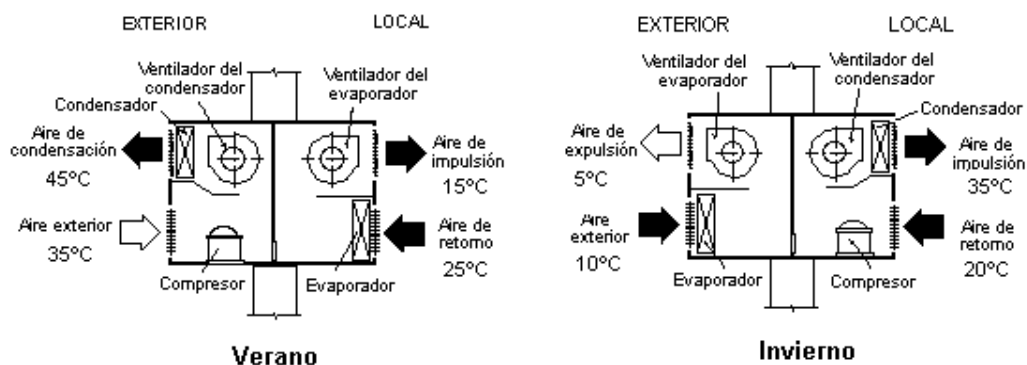


Figura 11. Concepto de la inversión de la bomba de calor en verano e invierno

Como ello en la práctica sería muy complicado, se logra el mismo objetivo invirtiendo el ciclo frigorífico mediante la aplicación de una simple válvula inversora que controla el sentido de circulación del refrigerante a través del sistema, consistiendo en una válvula de 4 vías del tipo corredera, como se detalla en la figura 12.

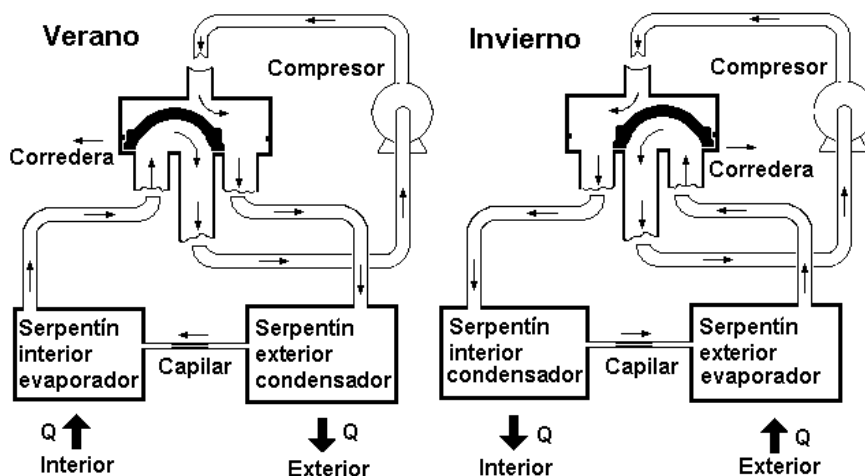


Figura 12. Esquema de inversión del ciclo con la válvula inversora

En general, suele estimarse la eficiencia o performance de una bomba de calor por el cociente entre la energía entregada al local o efecto útil y la energía absorbida de la red eléctrica.

El coeficiente de comportamiento de las bombas de calor en invierno es mayor que en verano, dado que se agrega el calor disipado por el compresor en el ciclo frigorífico como efecto útil. Puede considerarse que en un equipo que funcione con una temperatura de aire exterior a 5°C y una temperatura interior de 21°C, la eficiencia energética debería ser como mínimo 3 veces la de una resistencia eléctrica.

De esa manera, utilizando resistencias eléctricas para calefacción, se transforma directamente la energía eléctrica en calorífica y por efecto Joule vale: 1 Watt = 0,86 kcal/h.

Con la bomba de calor sólo se utiliza la energía eléctrica para accionar el motor del compresor, con el fin de bombear el calor de la fuente de menor a la de mayor temperatura, de modo que:

$$1 \text{ Watt} = 0,86 \text{ kcal/h} \times 3 = 2,58 \approx 2,6 \text{ kcal/h.}$$

Desplazamiento del calor en el edificio

Una aplicación importante de la bomba de calor de un ciclo frigorífico, es el diseño de sistemas de acondicionamiento específicos, que permiten el desplazamiento del calor de una parte a otra del edificio como efecto útil para atender las necesidades térmicas, con un gran ahorro energético. Este método se aplica particularmente a los grandes edificios, donde el calor sobrante de algunas zonas en invierno, en vez de eliminarse en el exterior, se transfiere a zonas que lo requieren, especialmente zonas periféricas o perimetrales.

Por ejemplo, en un piso tipo de un edificio en torre, en invierno se necesita calefacción en las áreas perimetrales, y en las centrales, como no hay transferencia de calor, la disipación interna del propio local genera un aumento de temperatura que requiere refrigeración en esa época del año. Si idealmente en una oficina en torre se ubicaran en invierno equipos compactos de aire acondicionado en el límite de las zonas perimetrales y la central, como se indica en la figura 13, se podría simultáneamente:

- Por una cara del equipo refrigerar el centro caliente.
- Por la otra calefaccionar el perímetro exterior frío.

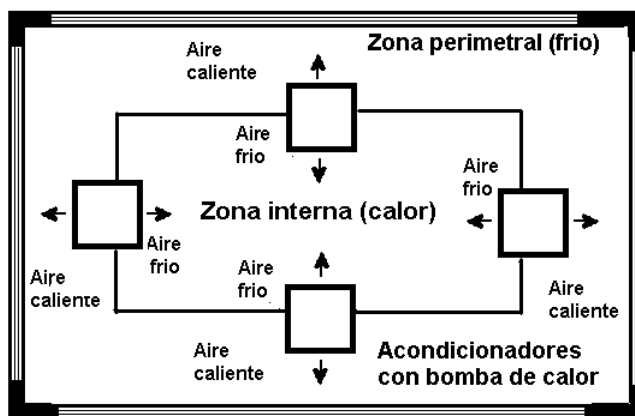


Figura 13. Zonas características de un edificio en torre en invierno

Sobre la base de esta idea se han desarrollado dos sistemas característicos de acondicionamiento orientados hacia el ahorro energético, que permiten el desplazamiento del calor mediante adecuada zonificación y fraccionamiento de los equipamientos en los edificios, que son:

- VRV (volumen refrigerante variable): sistema multisplit aire-aire.
- WSHP (water source heat pump): sistema aire-agua.

En los sistemas VRV se utiliza un controlador de bomba de calor (BC) que es un dispositivo que conecta las unidades interiores con las exteriores como se muestra en la figura 14, que distribuye el refrigerante a las interiores de acuerdo al modo de funcionamiento ya sea calefacción o refrigeración, separando el refrigerante gaseoso a alta presión destinado a las unidades que suministran calefacción, del refrigerante líquido para las unidades en refrigeración.

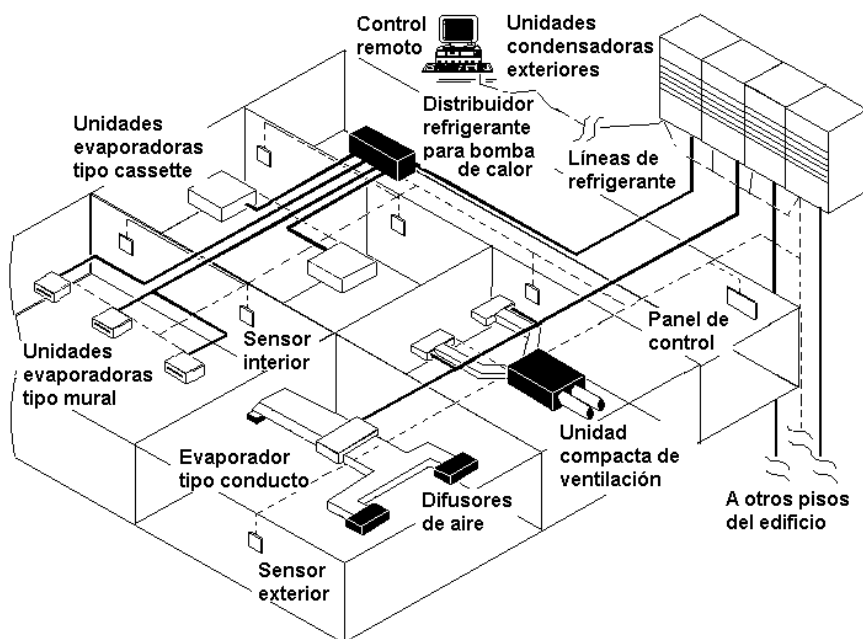


Figura 14. Esquema funcionamiento sistema multisplit VRV operando como bomba de calor

En los sistemas WSHP, la bomba de agua del circuito cerrado de condensación que vincula a los equipos frigoríficos provistos con válvula inversora del ciclo, mantiene la circulación permanente para transferir el calor entre los mismos, tal cual se muestra en el esquema de la figura 15.

De esa forma, las unidades que están dando refrigeración entregan calor al agua del circuito cerrado y tienden a subir su temperatura y las que suministran calefacción absorben el calor del agua y tienden a bajar su temperatura.

Si en un momento dado una parte de las unidades en operación están refrigerando y otras unidades están calefaccionando (generalmente $2/3$ y $1/3$), el sistema en principio está en equilibrio con su propia masa de agua, siendo innecesario hasta ese límite, el funcionamiento de los elementos suplementarios, que están constituidos por una torre de enfriamiento en circuito cerrado y una caldera de agua caliente.

Al aumentar las necesidades de las unidades de calefacción o refrigeración, toda el agua del circuito general del sistema debe calentarse hasta más de 30°C , para que arranque la torre de enfriamiento, o enfriarse menos de 15°C , para que lo haga la caldera de agua caliente.

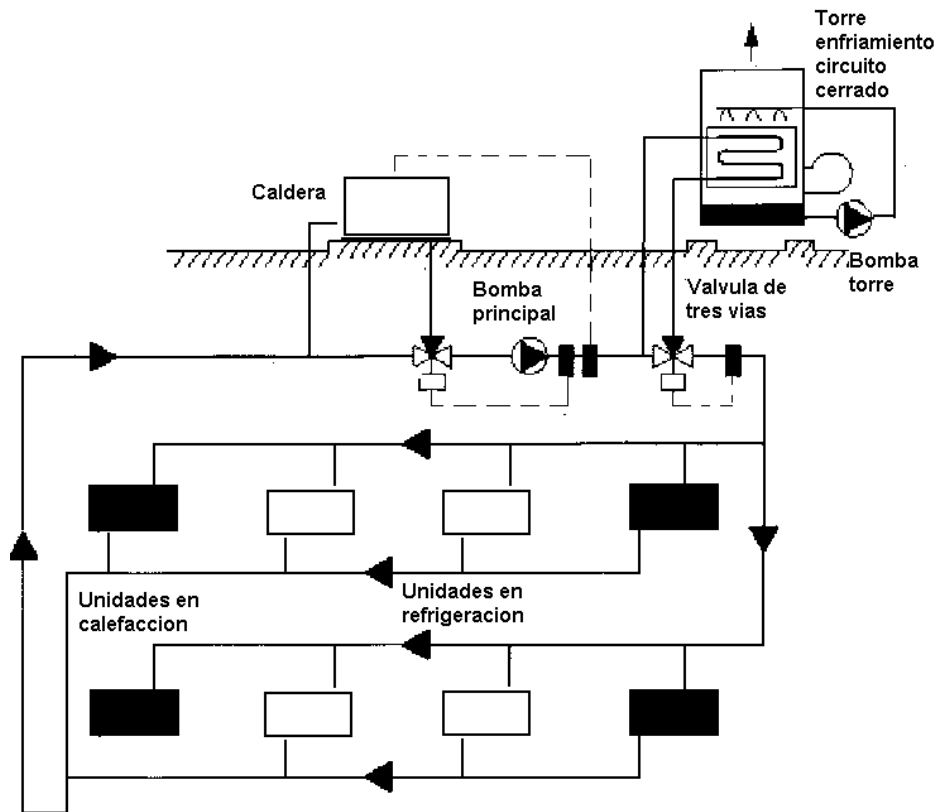


Figura 15. Esquema de operación de sistema WSHP operando como bomba de calor

Otra forma de aplicar el desplazamiento de calor como efecto útil es mediante una unidad enfriadora diseñada para funcionar simultáneamente en frío y calor, con producción de agua fría a través del evaporador y de agua caliente a través de un recuperador de calor, tal cual se muestra en el detalle esquemático de la figura 16.

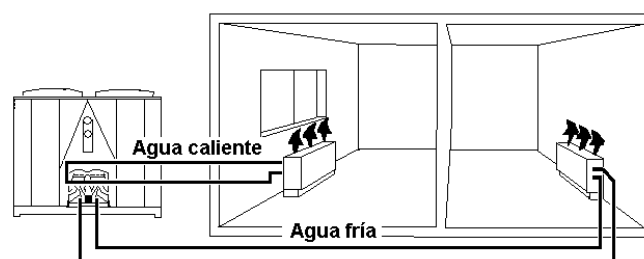


Figura 16. Esquema de unidad enfriadora de agua operando como bomba de calor

Utilización de los calores disipados

Se puede aprovechar el calor disipado por los distintos procesos, como ser en la generación de energía eléctrica, por el calor de los humos de la combustión, el vapor de turbinas o motores, mediante enfriadoras del ciclo de absorción, que requieren una fuente de calor para producir frío, según se detalla en los esquemas de ciclos comparativos de la figura 17.

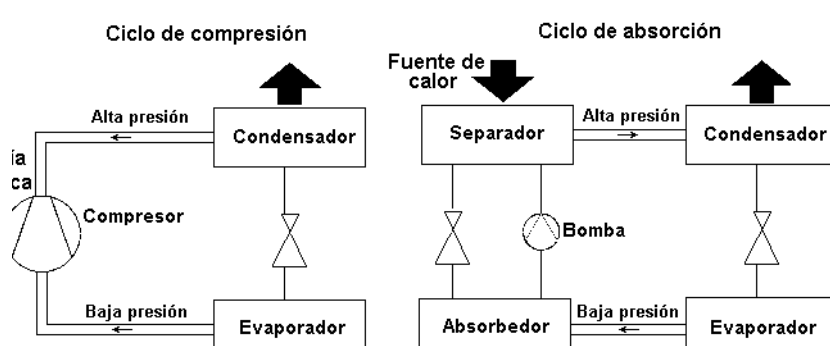


Figura 17. Detalle comparativo de los ciclos frigoríficos de compresión y absorción

Se pueden aprovechar con la máquina de absorción los calores residuales de gases de escape y motor en grupos electrógenos. Además es adecuada para aprovechar el calor del agua caliente producida mediante colectores solares.

Almacenamiento térmico

El propósito de la acumulación térmica consiste básicamente en generar una cantidad de calor en un horario determinado para utilizarla en otro, lo que origina las siguientes ventajas:

Térmicas

- Diseño de equipamiento más pequeño
- Evitar reciclajes de los equipamientos
- Mayor seguridad de funcionamiento

Eléctricas

- Recortes de pico de consumo eléctrico
- Aprovechamiento de tarifas eléctricas nocturnas

En el aspecto térmico, con el almacenamiento se pueden recortar los picos de demanda de cargas térmicas que se producen durante el día, permitiendo el diseño de equipos de climatización más pequeños, pero funcionando más horas. Esta característica permite, además de ahorrar en el costo del equipamiento, aumentar el rendimiento de la planta frigorífica, porque trabajan a capacidades uniformes con máximo rendimiento, salvando las cargas parciales pequeñas sin reciclajes. Adicionalmente, es un método ideal para incrementar la capacidad de un sistema existente de aire acondicionado.

Se origina además una mayor fiabilidad en la generación, ya que la energía proviene de dos fuentes, constituidas por un lado por un sistema dinámico de las plantas enfriadoras y por otro por un sistema estático de acumulación. En casos de corte de suministro eléctrico se cuenta con cierto tiempo de seguridad de mantenimiento de la temperatura ambiente debido a la carga térmica almacenada y se pueden contemplar paradas de la instalación para realizar mantenimientos de emergencia.

De esa manera, los sistemas de almacenamiento permiten la eliminación de un grupo electrógeno fijo para asegurar el servicio de aire acondicionado, estableciendo un tiempo de

funcionamiento en caso de corte eléctrico.

En cuanto al aspecto eléctrico, debe tenerse en cuenta que cuando el consumo supera la potencia convenida por un período mayor que 15 minutos, las empresas de energía facturan sobre la base de ese valor durante seis meses. Al contar con el almacenaje de la energía térmica durante la máxima demanda eléctrica, cuando se llega al pico de energía eléctrica contratada, se desconecta el equipamiento de aire acondicionado. De esa manera se evita el reajuste de tarifas de las compañías eléctricas, con el consiguiente ahorro en los costos energéticos.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las compañías proveedoras de electricidad fomentan el uso de la energía eléctrica en horas nocturnas, a veces con tarifas diferenciales, que es justamente cuando se efectúa el almacenamiento térmico.

Los sistemas de acumulación para refrigeración generalmente empleados pueden clasificarse en:

- Sistemas de calor sensible: *agua fría*
- Sistemas de calor latente: *agua-hielo*

El sistema de *calor sensible* es el más simple, consistiendo en el almacenamiento de agua en un tanque de acumulación, como se indica en la figura 18, la que se enfría fuera de las horas de utilización a la temperatura más baja posible, mediante el empleo de máquinas enfriadoras de líquido destinadas al acondicionamiento del edificio. El agua tiene un calor específico igual a 1 Kcal./kg°C y almacena sólo una determinada cantidad de calor sensible en función de la masa de agua y la variación de la temperatura.

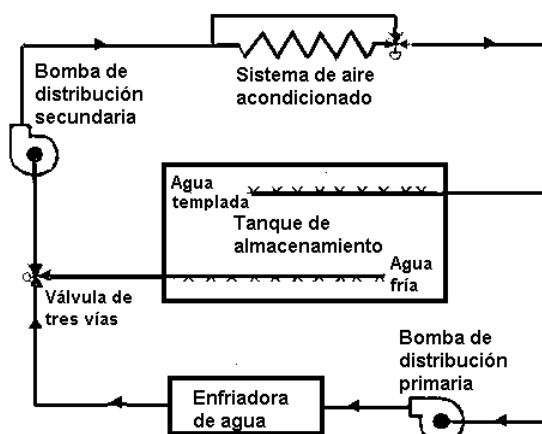


Figura 18. Detalle esquemático de un sistema de acumulación con agua fría

Con la unidad enfriadora funcionando, se envía la suficiente agua fría para satisfacer la carga requerida de refrigeración y el exceso se bombea al tanque de almacenamiento. Cuando la enfriadora no tiene suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de refrigeración, se extrae agua fría adicional desde el tanque.

Las desventajas del almacenamiento térmico con tanque de agua son los límites en la capacidad, por el acotado rango de temperatura del agua, lo que requiere grandes volúmenes, y las pérdidas o ganancias de calor en el sistema por transmisión.

El *sistema de calor latente* está asociado con un cambio de estado físico, también denominado *cambio de fase*, utilizando *generalmente hielo*.

La acumulación se realiza generalmente en grandes instalaciones con hielo, basada en el calor latente para cambiar de estado físico a agua, aprovechando las ventajas del alto calor de fusión del hielo (80kcal/kg) a la temperatura de 0°C para el cambio de fase, con un volumen mucho menor que el almacenamiento con agua.

Los sistemas más utilizados de acumulación de hielo, con ligeras variantes, son los sistemas de *serpentín* que utilizan agua con glicol circulando por un haz de tubos, uniformemente repartidos, montados en espiral, que enfrían y congelan el agua contenida en un depósito de acumulación a presión atmosférica normal, según se observa en el esquema de la figura 19.

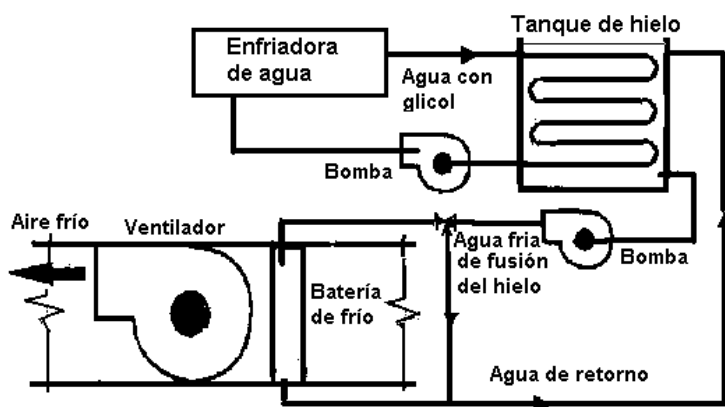


Figura 19. Detalle esquemático de sistema de almacenamiento de hielo con serpentín

Durante la noche, se hace circular el agua-glicol a temperaturas menores de 0°C por lo que el *agua del tanque que rodea los tubos se congela*, almacenando hielo durante la noche. Durante el día el hielo que rodea los tubos se funde, liberando la energía frigorífica almacenada.

Una desventaja de los sistemas de acumulación con hielo es la pérdida de eficiencia de la máquina enfriadora que tiene que evaporar a temperatura próxima a los -3°C por lo que el rendimiento frigorífico disminuye alrededor del 30% en relación con la producción de agua normal a 7°C.

Incremento de la eficiencia energética

Desdoblamiento de equipos

El aspecto primordial del diseño es conseguir que las capacidades frigoríficas suministradas por los equipamientos de la instalación sean idénticas a las necesidades instantáneas de los locales a acondicionar, lo que lleva en muchos casos a la necesidad de considerar su *desdoblamiento*, para satisfacer las pequeñas cargas parciales.

Por ello debe fraccionarse la capacidad de los equipamientos, con el fin de adaptar la producción de aire acondicionado a la demanda de calor del sistema en la magnitud y el momento en que se produce, con el objeto de conseguir en cada instante el régimen de potencia más cercano al de máximo rendimiento.

Debe tenerse en cuenta que las *maquinas rinden más cuando están funcionando al máximo de su capacidad* y, en este caso, operaría a cargas parciales prácticamente una sola, mientras que la otra permanecería expectante para acoplarse en caso de aumentar las cargas. Además, se dispone de mayor seguridad en el servicio en caso de fallas y se aumenta la vida útil de la instalación.

Proyectos de conductos y plantas térmicas

Las instalaciones de aire acondicionado se dividen en dos partes:

- Unidad de tratamiento del aire y conductos de distribución.
- Planta frigorífica o térmica.

Estas partes pueden estar unificadas como es el caso de un equipo compacto autocontenido.

En los proyectos del siglo pasado, en los grandes edificios se centralizaba la instalación completa en una gran sala de máquinas en el subsuelo, y allí se efectuaba en conjunto la preparación de los fluidos energéticos y el tratamiento y distribución del aire. De esa manera se facilitaba el control operacional y el mantenimiento de las instalaciones, que estaba basado en la llamada *tecnología del relay* y la percepción visual y sensorial in situ de equipamientos, elementos e instrumentos de control por parte del operario.

Ello originaba que al estar la sala de máquinas alejada de los espacios acondicionados, se requerían largos tendidos de conductos para transportar el aire, lo cual generaba un *costo energético mucho más grande que si se transportaba por líneas de agua o por refrigerantes*, además de las grandes dimensiones que ocupaban áreas útiles e implicaban problemas constructivos.

Por los motivos expuestos, el aire no debe utilizarse para *el transporte térmico*, debiendo destinarse como norma básica de diseño a la distribución del aire en los locales acondicionados con rejillas o difusores, *que es la forma más lógica y adecuada para lograr un uniforme barrido*.

De lo expuesto, surge que *es conveniente descentralizar las unidades de tratamiento de aire y ubicarlas cercanas o eventualmente en los mismos locales a acondicionar*, para que desde allí se efectúe la distribución del aire mediante conductos. Ello ha sido posible mediante el desarrollo de la tecnología electrónica, que permite *distribuir las unidades de tratamiento de aire en el edificio*, y vincularlas mediante dispositivos supervisados, desde una *sala de control centralizada*. No ocurre lo mismo con la planta frigorífica y de calefacción, que *es conveniente que estén centralizadas*, desde el punto de vista de la operación, el mantenimiento y la seguridad, y porque además *se logra reducir su capacidad aprovechando las cargas simultáneas* que se producen en todo el edificio.

En resumen, el *proyecto ideal de una instalación de aire acondicionado* en un edificio de cierta envergadura, apoyado con la tecnología de control y supervisión digital, debe consistir en:

- Planta frigorífica o térmica centralizada.
- Unidades de tratamiento de aire, distribuidas en el edificio.

Este concepto de diseño es el que prima en los sistemas todo agua y todo refrigerante multisplit.

El uso de sistemas unitarios, con muchos equipos compactos autocontenidos de expansión directa en grandes edificios, si bien permite distribuir el tratamiento del aire, *también descentraliza la planta frigorífica por cada equipo*, con gran cantidad de circuitos de refrigeración a mantener. Adicionalmente, la capacidad frigorífica total a instalar es mayor, porque cada uno de ellos debe estar diseñado para satisfacer la carga pico de los locales que sirven, sin considerar la simultaneidad de las necesidades en el edificio, a diferencia de lo que ocurre con una planta de agua fría o unidades condensadoras centralizadas.

Necesidad de la zonificación

La instalación de aire acondicionado debe servir a un conjunto de locales de un edificio, que difieren entre sí en su funcionamiento a cargas parciales, ya sea por su orientación, cargas internas, efecto solar o distintas condiciones de funcionamiento; ello constituye un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño con miras al ahorro energético.

El criterio de *zonificación* consiste en agrupar el acondicionamiento de todos aquellos ambientes del edificio cuyas cargas térmicas varíen en forma similar. De esa manera, se puede definir como una zona a aquellos locales que están controlados por un mismo termostato.

Existen varias formas de zonificar, pero no cabe duda que la mejor de todas es que cada zona *tenga su propio equipo de tratamiento de aire, con su termostato de control*.

Los principales factores determinantes de la zonificación son:

- Orientación.
- Horarios de uso.
- Disipaciones internas y condiciones psicrométricas.

Distribución de fluidos a volumen variable

Otro desarrollo importantísimo que permitió el avance de la electrónica es la posibilidad muy simple y económica de regular la velocidad de giro o revoluciones por minuto de un motor, mediante un sistema denominado *inverter*, que es un dispositivo electrónico que modula la tensión, el amperaje y la frecuencia de la red de suministro, y que se puede aplicar a compresores, bombas de agua o ventiladores de los sistemas de acondicionamiento.

Al emplearlo en un compresor permite regular la capacidad a cargas parciales, variando la velocidad, en lugar de arrancar y parar el mismo. El control de temperatura es entonces mucho más preciso, con una puesta en régimen más corta, porque el compresor puede arrancar a una mayor velocidad, tal cual como se observa en el gráfico de la figura 20.

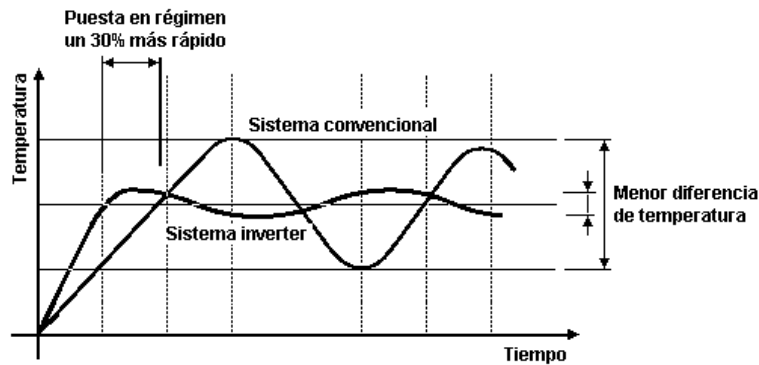


Figura 20. Gráfico comparativo de un sistema inverter con un convencional

Por otra parte, posibilita la regulación de los caudales transportados mediante el ajuste de la velocidad de giro de los motores, lo que representa un considerable ahorro energético porque *la potencia consumida es una función del cubo de la relación de velocidades*.

En el ejemplo que se detalla en la figura 21, se desea reducir al 80% el caudal de agua que circula por el sistema de acondicionamiento por agua fría.

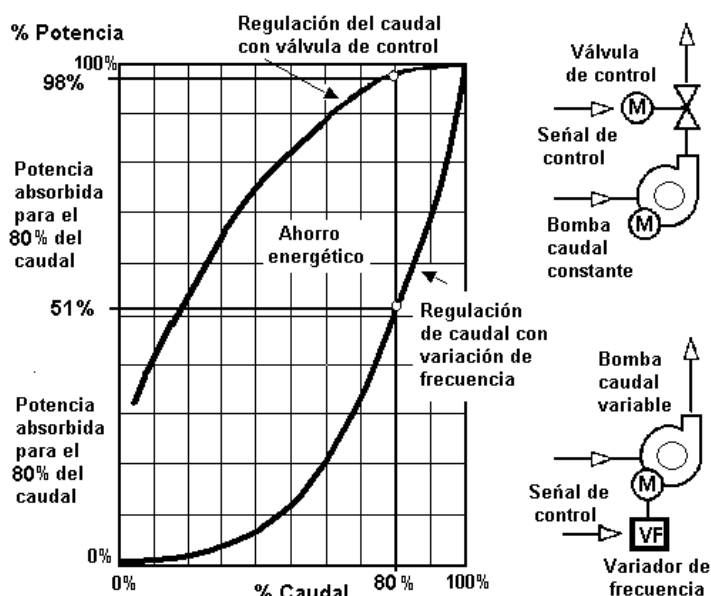


Figura 21. Gráfico comparativo de reducción de potencia con sistemas de volumen variable.

Si para ello se cuenta con una bomba de velocidad constante, se puede usar una válvula, pero la potencia absorbida por el motor sólo baja un 2%. Sin embargo, si se utiliza un sistema inverter que disminuye la velocidad de rotación, la potencia tomada por el motor se reduce al 51%.

Eficiencia frigorífica

Un ciclo frigorífico es un motor térmico que funciona a la inversa, de modo que su eficiencia energética está dada por la fórmula de Carnot del ciclo ideal, pero invertida, tal cual se indica en la figura 22, en donde las temperaturas se miden en K. Los rendimientos

de los motores térmicos son siempre inferiores a la unidad, mientras que para el ciclo frigorífico es un número entero que representa el equivalente térmico del trabajo mecánico suministrado por el compresor.

En la realidad, como el ciclo de Carnot es ideal, los valores en la práctica difieren bastante de los calculados con esa fórmula, porque no tienen en cuenta, entre otros aspectos, el sobrecalentamiento y el subenfriamiento del vapor, así como la transferencia de calor de compresión.

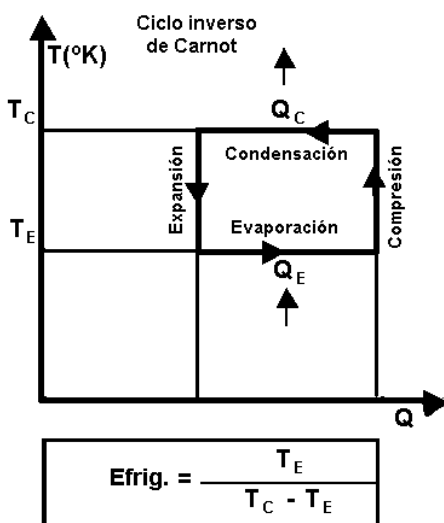


Figura 22. Eficiencia energética de un ciclo frigorífico

Sin embargo, la fórmula es muy útil porque permite visualizar que el valor de la eficiencia frigorífica se incrementa:

- Aumentando la temperatura de evaporación.
- Disminuyendo la temperatura de condensación.
- Disminuyendo la diferencia de temperatura de condensación y evaporación.

Por ejemplo, los equipos enfriados por agua con torre de enfriamiento tienen mayor rendimiento que los enfriados por aire exterior, porque su temperatura de condensación es menor y, además, las unidades condensadoras o enfriadoras de agua rinden más cuanto mayor es la temperatura de evaporación de los dispositivos de enfriamiento.

Eficiencia energética

Si bien hay numerosos índices de aplicación para medir la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado, se utiliza generalmente para equipos de más de 3 toneladas de refrigeración el COP (Coeficiente de performance) que es la relación entre la potencia frigorífica entregada con respecto a la potencia eléctrica consumida en las condiciones de funcionamiento mas desfavorables que deben suministrar los fabricantes.

$$\text{COP} = \text{Kwfrig} / \text{KW eléct.}$$

Los valores de COP varían con las normas, pero no deberían ser menores que 3 para que el equipo sea eficiente.

Los estadounidenses usan el coeficiente EER (efficient energy rating) que vale:

$$EER = \text{BTU/h} / \text{Kw eléct}$$

Los valores de EER no deberían ser menores de 10.

Regulación del sistema

Es fundamental disponer de los medios de ajustes necesarios para adaptar los parámetros de funcionamiento de los equipos, de modo de lograr su optimización en cuanto a sus condiciones de funcionamiento. En la figura 23 se detalla un sistema típico de control para un sistema de acondicionamiento, provisto de una unidad condensadora que alimenta a una unidad de tratamiento de aire que distribuye el mismo a volumen variable, donde se observan los distintos elementos constitutivos.

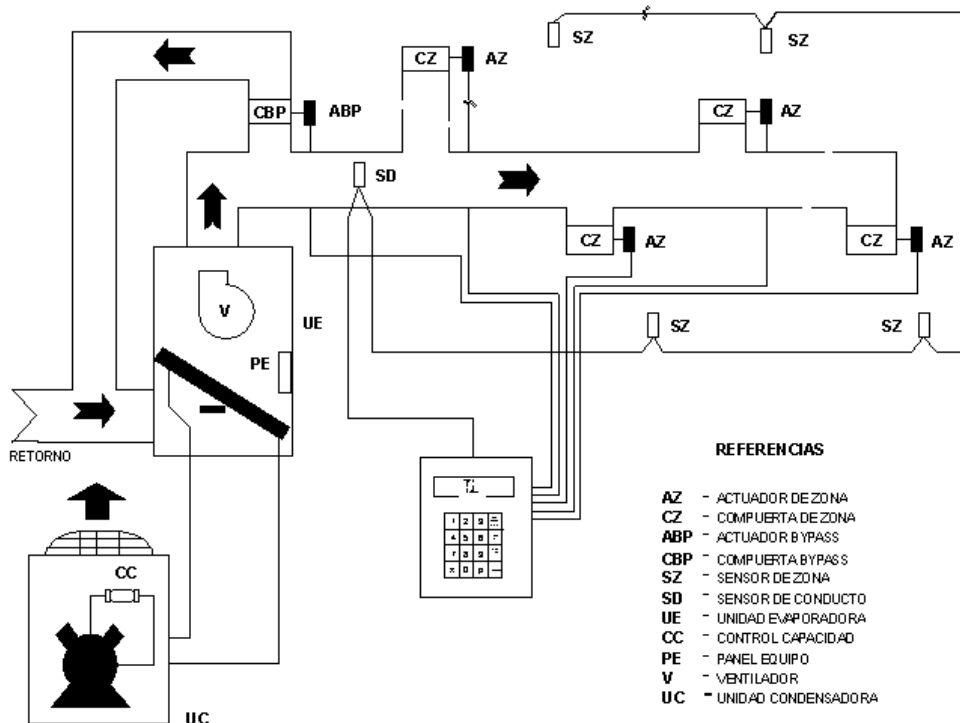


Figura 23. Sistema típico de control de acondicionamiento de aire a volumen variable

En grandes edificios debe adoptarse un *sistema de gestión integral* que posibilite la operación y la regulación, con un programa orientado hacia la reducción del consumo energético, así como una disminución de los costos de mantenimiento, siendo útiles dichos datos para definir las reales necesidades del servicio, las correcciones y las posibles mejoras al funcionamiento, que puede ser operado desde un puesto central en una sala de control en el edificio.

De esa manera puede disponerse de un control directo de cada uno de los parámetros de la instalación, proporcionando en tiempo real la información de lo que está pasando en el edificio para tomar decisiones de ahorro energético, tales como selección de las condiciones interiores de confort, fijación o adecuación de los set-point.

En los casos de edificios inteligentes se agrega el control de la iluminación, bombas de agua, etc., lo que requiere la integración al sistema de los equipamientos con sus protocolos.

Referencias

Quadri, Néstor.(2007). *Instalaciones de aire acondicionado y calefacción*. Editorial Alsina, Buenos Aires

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Rumbos Tecnológicos es una publicación periódica de la Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional, de carácter científico-tecnológico y destinada a un público con formación particular en diferentes campos del conocimiento.

Su propósito es la difusión de trabajos de investigación científica y tecnológica de la ingeniería, sus campos de aplicación, la enseñanza de la disciplina y otras ciencias relacionadas con su práctica. Asimismo son de interés artículos de reflexión o estudios de casos particulares producto de experiencias de los autores en la práctica de la investigación.

Presentación de los trabajos

Los trabajos deberán ser dirigidos al Comité Editorial y enviados por correo electrónico a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva:

cienciaytecnologia@fra.utn.edu.ar

El servidor se encuentra en condiciones de recibir archivos de hasta 6 MB. Si la extensión del trabajo fuera mayor, es aconsejable remitir separadamente el texto y las ilustraciones.

Categoría de artículos

1. Las contribuciones previstas podrán ser:

- a) Artículos de Investigación Científica y Tecnológica: documentos que presentan, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación.
- b) Reportes de Caso: documentos que presentan los resultados de estudios sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluyen revisión sistemática y comentada de la literatura sobre casos análogos.
- c) Notas Técnicas: trabajos de naturaleza técnico-tecnológica destinados a la descripción de procesos, dispositivos o equipos desarrollados por los autores.
- d) Cartas al Editor: documentos breves que presentan resultados originales, preliminares o parciales, de investigaciones científicas o tecnológicas, que por lo general requieren de una pronta difusión.
- e) Artículos de revisión: documentos de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracterizan por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

2. Artículos de difusión: trabajos destinados a ilustrar acerca de las características de un tema particular y sus aplicaciones.

Todas las categorías serán sometidas a arbitraje excepto los artículos de difusión, que serán seleccionados por el comité editor de acuerdo a la temática propuesta.

Estructura de los contenidos y edición

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

La presentación debe realizarse en formato de hoja tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,5 cm.

Se deberá emplear sangría en primera línea de 1 cm y alineación justificada en el texto.

La fuente a utilizar en los trabajos es Arial Narrow;

- a) Nombre del trabajo: tamaño 14, negrita, en mayúscula y centrado.
- b) Autores: a continuación, sobre margen izquierdo, dejando interlineado doble, tamaño 12, en negrita, nombre y apellido del (de los) autor(es). En tamaño 12, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n). En itálica, la dirección de correo electrónico del autor principal.
- c) Títulos: margen izquierdo, tamaño 14 y en negrita.
- d) Subtítulos: margen izquierdo, tamaño 12 y en negrita.
- e) Textos: justificado, tamaño 12, en espacio simple.
- f) Título de tablas y figuras: en negrita y tamaño 10.

En cuanto a los contenidos se sugiere:

El *Resumen* debe ser lo más informativo posible para orientar al lector en la identificación del contenido básico del artículo en forma rápida y exacta. Debe expresar clara y brevemente los objetivos y el alcance del estudio, los procedimientos básicos, los métodos analíticos, los principales hallazgos y las conclusiones y presentar resultados numéricos precisos. Debe redactarse en tercera persona y tiempo pasado, excepto la frase concluyente; excluir abreviaturas y referencias bibliográficas. El mismo deberá expresarse en castellano e inglés con una extensión máxima de 200 palabras, dejando interlineado doble luego del bloque "Autores".

Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Para el resto del texto, se aconseja ordenar el cuerpo de trabajo en distintas secciones:

- *Introducción*: se expone en forma concisa el problema, el propósito del trabajo y se resume el fundamento del estudio. Se mencionan sólo las referencias estrictamente pertinentes, sin incluir datos ni conclusiones.
- *Desarrollo (Materiales y Métodos o Parte Experimental)*: aquí se describe el diseño de la investigación o el trabajo y se explica cómo se llevó a la práctica, las especificaciones técnicas de los materiales, la cantidad y los métodos de preparación. Etc.
- *Resultados*: esta sección presenta la información pertinente a los objetivos del estudio y los hallazgos, en una secuencia lógica, es decir, presentando didácticamente el conocimiento que se trata de comunicar y no la estructura histórico secuencial de cómo fueron descubiertos o enunciados esos conocimientos.
- *Discusión*: es el lugar donde se examinan e interpretan los resultados y se sacan las conclusiones derivadas de esos resultados.

- **Conclusiones:** expresan en forma resumida, sin los argumentos que la sustentan, las consecuencias extraídas en la Discusión de los Resultados.
- **Agradecimientos:** los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.
- **Referencias:** agregar al final del texto, en una lista, las referencias bibliográficas y documentales con los autores y las obras citadas, ordenada alfabéticamente. La lista bibliográfica guarda una relación exacta con las citas que aparecen en el texto: solamente incluye aquellos recursos que se utilizaron para llevar a cabo la investigación y la preparación del trabajo.

Conjuntamente con el artículo completo, deben enviarse en archivos separados e identificados claramente, imágenes y gráficos con el formato final indicado.

Elementos generales de citación y elaboración de las referencias

Citación

1. Ejemplos para citar en el texto una obra por un autor(a):

- a. Rivera (1994) comparó los tiempos de reacción...
- b. En un estudio reciente sobre tiempos de reacción (Rivera, 1994)...
- c. En 1994, Rivera comparó los tiempos de reacción...

2. Obras con múltiples autores(as):

- a. Cuando un trabajo tiene dos autores(as), se deben citar ambos cada vez que la referencia ocurre en el texto.
- b. Cuando un trabajo tiene tres o más autores, se cita el apellido del(a) primer(a) autor(a) seguido de la frase et al. y el año de publicación.

Ejemplo: Ramírez et al. (1985) concluyeron que...

3. En el caso de que se citen dos o más obras por diferentes autores(as) en una misma referencia, se escriben los apellidos y respectivos años de publicación separados por un punto y coma dentro de un mismo paréntesis. Ejemplo:

En varias investigaciones (Ayala, 1984; Conde, 1986; López y Muñoz, 1994) concluyeron que...

Referencias

No deberán incluirse en Referencias citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo. La elaboración de la lista debe cumplir la siguiente norma:

Elementos de referencia de un libro completo

Autor (año de publicación). *Título del libro*. Lugar de publicación: editor. Ejemplo:
Luenberger, D. (1989). *Programación lineal y no lineal*. México: Addison-Wesley.

Para un artículo o capítulo dentro de un libro editado.

Autor (año de publicación). Título del artículo o capítulo. En *Título de la obra*. Lugar de publicación: editor. Ejemplo:

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1998). Recolección de los datos. En *Metodología de la investigación* (233-339). México: McGraw-Hill.

Artículo de revista científica

Autor (año de publicación). Título del artículo. Título de la revista, volumen (número de la edición), números de páginas. Ejemplo:

1. Artículo de revista, un autor

Bekerian, D. A. (1992). "Un estudio sobre movimiento ondulatorio". *Revista Americana de Física*, 48, 574-576.

2. Artículo de revista, tres a cinco autores

Borman, W. C., Hanson, M. A., Oppler, S. H., Pulakos, E. D., y White, L. A. (1993). "Role of early supervisory experience in supervisor performance". *Journal of Applied Administration*, 78, 443-449.

Ejemplos de referencias a documentos electrónicos

Documento en línea

Hernández, M. E. Energía eólica y sustentabilidad, [en línea]. Argentina: Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <http://cenamb.rect.uba.ar/siamaz/dicciona/nahuelhuapi/huapi.htm> [Fecha de acceso: 3 de junio de 2008].

Documento en línea, con responsable

Organismo Autónomo de Museos y Centros (2002, julio). *Museo de la Ciencia y el Cosmos*, [en línea]. Tenerife: Trujillo, W. M. Disponible en: <http://www.mcc.rcanaria.es> [Fecha de acceso: 22 de diciembre de 2007].

Documento en línea, sin autor

Electronic reference formats recommended by the American Psychological Association (1999, 19 de noviembre), [en línea]. Washington, DC: American Psychological Association. Disponible en: <http://www.apa.org/journals/webref.html> [Fecha de acceso: 2 de febrero de 2009].

Artículo de diario en línea

De Benito, E. (2000, 5 de junio). Bariloche es la primera región de Sudamérica que planifica un desarrollo ecológico y sostenible. *Página 12* [en línea], N° 494. Disponible en: <http://www.pagina12.ar/p/d/20000605/sociedad/bariloche.htm> [Fecha de acceso, 5 de junio de 2003].

Tablas y figuras

Los resultados deben exponerse con claridad, siguiendo una secuencia lógica y en forma comprensible. Es importante agruparlos en tablas o figuras, ya que contribuyen a dar una visión global de la información obtenida. Toda tabla, cuadro o figura debe estar referida y explicada en el texto (Por ejemplo: "Ver Figura 1"), aunque sus leyendas tienen que ser lo suficientemente explícitas como para permitir su comprensión independiente. Se recomienda usar gráficos cuando haya más de 10 datos, para dar un panorama general, presentar patrones visuales, permitir que los datos guíen la presentación y evitar la saturación.

Tablas y Figuras (o gráficos): se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con

números arábigos consecutivos y acompañadas con un título auto-explicativo siguiendo los próximos ejemplos según corresponda.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título

	1er trim.	2do trim.	3er trim.	4to trim.
Este	20,4	27,4	90	20,4
Oeste	30,6	38,6	34,6	31,6
Norte	45,9	46,9	45	43,9

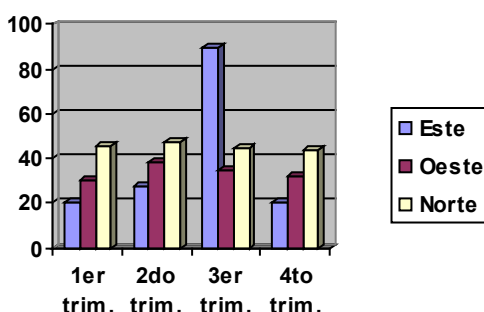


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa

Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato jpg. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color.

Recomendaciones generales

Se recomienda a los autores:

- Preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos, evitando el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos o con distinto significado en otros ámbitos.
- No emplear palabras derivadas de traducciones incorrectas o pertenecientes a otros idiomas, excepto cuando no existan equivalencias válidas en castellano, o se refieran a prácticas, metodologías o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.
- Evitar el uso excesivo de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

Mecanismos de aceptación

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

El envío de una contribución supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente.



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda
Av. Ramón Franco 5050 – CP: 1874 – Buenos Aires – Argentina
Tel: (54-11) 4353-0220 int. 105 – Fax: (54-11) 4353-0221 – www.fra.utn.edu.ar –
cienciaytecnologia@fra.utn.edu.ar